

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA

**ELABORAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS
PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
TRANSFORMADORES**

VICTOR HUGO YANEZ SALAZAR
victor.yanez@indelasto.com

DIRECTOR: ING. CARLOS CHILUISA
C_chiluisa_epn@yahoo.com

QUITO, ABRIL 2010

DECLARACION

Yo, Víctor Hugo Yánez Salazar, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Víctor Hugo Yánez Salazar

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Víctor Hugo Yáñez Salazar, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Chiluisa

DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, por haberme dado la vida, regalado una familia única, a mis padres y hermanos por haberme dado todo su apoyo para poder superarme y alcanzar mis metas y anhelos, a mi esposa y mi hija por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante en todo lo propuesto, a mis maestros forjadores del conocimiento, a la Escuela Politécnica cuyas aulas son testigos de los sueños que hoy los vemos realizados y a R.V.R. por haberme abierto sus puertas para poner en practica todo lo aprendido.

Víctor Hugo Yáñez Salazar.

INDICE

PAG

CAPITULO I

TRANSFORMADORES

1.1 CONCEPTO.....	1
1.2 FUNCIONAMIENTO.....	2
1.3 TIPOS DE TRANSFORMADORES.....	3

CAPITULO II

CONEXIONADO DE LOS TRANSFORMADORES

2.1 POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR.....	7
2.2 CONEXIONES TÍPICAS DE LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.....	9
2.2.1 Conexión estrella – estrella (y-y) sin neutro.....	9
2.2.2 Conexión estrella – estrella (y-y) con neutro.....	10
2.2.3 Conexión estrella - delta (y- Δ).....	11
2.2.4 Conexión delta – estrella (Δ -y).....	12
2.2.5 Conexión delta – delta (Δ - Δ).....	13
2.2.6 Conexión abierta (v-v).....	14
2.2.7 Conexión abierta (y-z).....	15
2.3 GRUPO DE CONEXIÓN.....	16
2.4 CLASIFICACIÓN DEL GRUPO DE CONEXIONES SEGÚN NORMAS VDE, PRUEBAS.....	17

CAPITULO III

DISEÑO DEL TRANSFORMADOR

3.1 CALCULO DE LOS TRANSFORMADORES.....	21
3.2 CÁLCULO DE LAS TENCIONES Y CORRIENTES EN LOS DEVANADOS.....	24
3.3 CÁLCULO DEL NÚMERO DE ESPIRAS, SECCIÓN DEL CONDUCTOR Y SECCIÓN DEL NÚCLEO.....	25
3.3.1 Espiras y sección del conductor.....	25
3.3.2 Calculo de los calibres del conductor.....	28
3.4 CALCULO DE LA SECCIÓN TRASVERSAL DEL NÚCLEO Y SUS DIMENSIONES GEOMÉTRICAS.....	30
3.5 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA BOBINA, DEL ANCHO DE LA VENTANA Y ARCADAS DEL NÚCLEO.....	34

3.5.1 Dimensiones del bobinado de bajo voltaje (B.V.).....	34
3.6 BOBINA DE ALTO VOLTAJE (A.V.).....	39
3.7 CÁLCULO DE AISLAMIENTOS MENORES PARA LA BOBINA DE A.V.....	42
3.7.1 Determinación del ancho de la ventana del núcleo y el peso por arcada.....	46
3.8 DISEÑO DIELECTRICO DEL TRANSFORMADOR.....	49
3.8.1 Cálculo de aislamientos menores.....	49
3.8.2 Sección de aislamientos mayores.....	51
3.9 PÉRDIDAS EN EL TRANSFORMADOR Y EFICIENCIA.....	51
3.9.1 Pérdidas en el hierro.....	52
3.9.2 Pérdidas en el conductor.....	53
3.10 IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR.....	57
3.10.1 Resistencia equivalente y % de resistencia.....	57
3.10.2 Porcentaje de la reactancia de dispersión.....	57
3.11 REGULACIÓN DE VOLTAJE.....	59
3.12 RESUMEN.....	59

CAPITULO IV

CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES

4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTES DEL TRANSFORMADOR.....	62
4.2 DESCRIPCIÓN BREVE DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.....	62
4.3 DISEÑO DEL PROCESO PARA LA PLANTA DE R.V.R. TRANSFORMADORES.....	66
4.3.1 Introducción.....	66

CAPITULO V

CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES EN R.V.R.

5.1 CORTE Y ARMADO DEL NUCLEO	69
5.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS BOBINAS.....	71
5.3 ELABORACIÓN DEL TANQUE.....	76
5.4 MONTAJE DE LAS BOBINAS.....	80
5.5 CONEXIONADO.....	81
5.6 MONTAJE DE LA PARTE ACTIVA EN EL TANQUE.....	83
5.6.1 Pruebas realizadas a los transformadores.....	86
5.7 TERMINADO DEL TRANSFORMADOR.....	90

INDICE DE FIGURAS

	PAG
Fig. 1.1 Constitución del transformador.....	2
Fig. 2.1 Ensayo de polaridad del transformador.....	8
Fig. 2.2 Polaridad sustractiva.....	8
Fig. 2.3 Polaridad aditiva.....	9
Fig. 2.4 Conexión estrella – estrella sin neutro.....	10
Fig. 2.5 Conexión estrella – estrella con neutro.....	11
Fig. 2.6 Conexión estrella – delta.....	12
Fig. 2.7 Conexión delta – estrella.....	13
Fig. 2.8 Conexión delta – delta.....	14
Fig. 2.9 Conexión abierta (V-v).....	15
Fig. 2.10 Conexión abierta (Y-z).....	16
Fig. 2.11 Conexión Dy5.....	17
Fig. 3.1 Esquema desarrollado de los devanados (AT-BT).....	30
Fig. 3.2 Arcada del núcleo tipo acorazado.....	34
Fig. 3.3 Corte sección transversal del núcleo.....	34
Fig. 3.4 Corte transversal del devanado BT.....	37
Fig. 3.5 Colocación de los collares en el devanado AT.....	41
Fig. 3.6 Característica de ruptura del papel Kraft.....	46
Fig. 3.7 Diagrama en corte del conjunto núcleo bobina.....	49
Fig. 3.8 Representación de la arcada.....	50
Fig. 4.1 Vista y corte de un núcleo tipo apilado.....	66
Fig. 4.2 Vista de un núcleo tipo acorazado con indicación de la longitud magnética media.....	67

INDICE DE TABLAS

	PAG
Tabla 3.1 Voltajes nominales preferenciales.....	23
Tabla 3.2 Eficiencias mínimas permitidas en los transformadores de distribución (en %)...	24
Tabla 3.3 Impedancias normalizadas.....	25
Tabla 3.4 Lámina de aluminio lisa.....	38
Tabla 3.5 Lámina de aluminio lisa.....	39
Tabla 3.6 Distancias mínimas de aislamientos menores.....	42
Tabla 3.7 Pérdidas sin carga de los transformadores de distribución.....	55

INDICE DE FOTOGRAFIAS

	PAG
Fotografía 5.1 Núcleo armado.....	74
Fotografía 5.2 Estructura templadora.....	77
Fotografía 5.3 Bobinado tipo cilindro.....	78
Fotografía 5.4 Bobinado tipo rectangular.....	79
Fotografía 5.5 Tanque del transformador.....	81
Fotografía 5.6 Perforaciones del tanque para colocar los radiadores.....	82
Fotografía 5.7 Montaje de los bobinados en el núcleo.....	85
Fotografía 5.8 Aislamiento de los conductores.....	87
Fotografía 5.9 Llenado del transformador con aceite dieléctrico.....	90
Fotografía 5.10 Placa del transformador.....	96
Fotografía 5.11 Transformador terminado.....	97

INDICE DE ANEXOS

	PAG
Anexo 1 Tabla de conductores redondos desnudos de cobre y aluminio.....	108
Anexo 2 Alambre de cobre Magneto doble capa de barniz.....	109
Anexo 3 Planos del diseño del tanque.....	110
Planos del diagrama de corte y armado del núcleo.....	111
Planos del diagrama de las bobinas.....	112
Anexo 4 Protocolo.....	113
Anexo 5 Diagramas para realizar las pruebas a los transformadores.....	114
Anexo 6 Calculo para un transformador monofásico.....	118

RESUMEN

El presente manual es un trabajo que surgió con la necesidad de estandarizar el proceso de ensamblado de transformadores, es un material guía de los pasos a seguir cuando se ensamblan los transformadores, contiene su fundamento teórico así también como información general de los transformadores.

El manual es de fácil interpretación ya que lo deben manejar personas que laboran en una planta, dándoles la facilidad de consultar acerca de temas específicos del diseño y construcción de un transformador.

El manual consta de ejemplos claros de cómo se deben realizar las pruebas a un transformador, conexiones típicas de un transformador.

El manual como parte del diseño consta de los cálculos básicos, tablas y graficas que nos ayudan en este propósito, además que contiene un ejemplo practico de cómo se calcula un transformador utilizando tablas normalizadas de materiales que se pueden encontrar en el mercado.

INTRODUCCION

El presente manual tiene como finalidad la de brindar un apoyo técnico, teórico y práctico a cerca del diseño y construcción de transformadores para el mercado local, dando una guía de cómo se elabora un transformador desde su diseño hasta que el transformador está listo para su despacho al cliente.

Este elaborado como fuente de consulta ya que contiene un marco teórico básico de los transformadores eléctricos, así también como los tipos de transformadores y su clasificación.

También se encuentran las conexiones típicas de los transformadores trifásicos, polaridad de un transformador, grupos de conexión, cálculos de un transformador y el diseño y la construcción paso a paso de los transformadores eléctricos.

CAPITULO I

TRANSFORMADORES

1.1.CONCEPTO

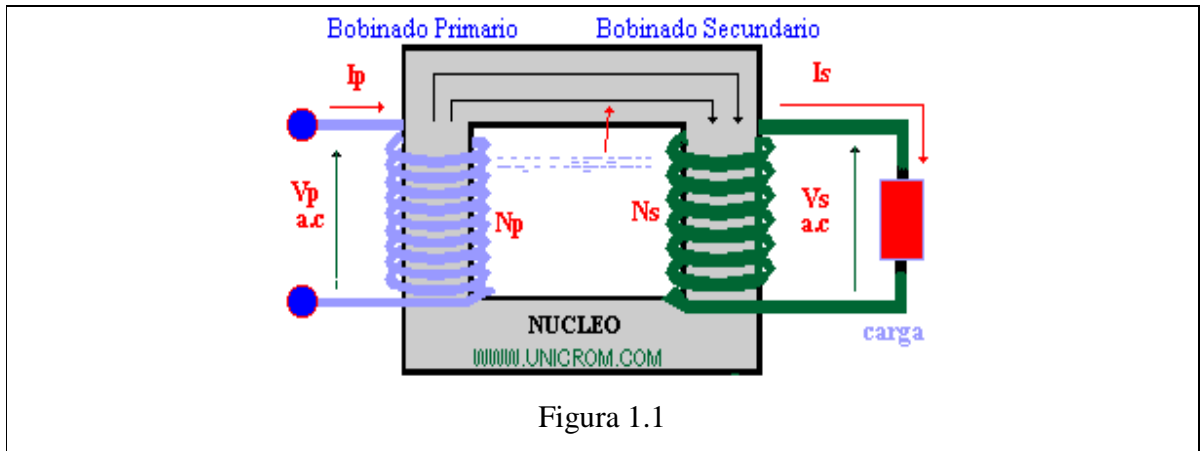
Un transformador es un dispositivo eléctrico estático, que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro, mediante el principio de inducción electromagnética, sin cambio de frecuencia, además esta compuesto por circuitos eléctricos aislados entre si que son eslabonados por un circuito magnético común.

No se la considera como una máquina eléctrica por que no tiene partes en movimiento sin embargo dada su importancia se la estudia como tal.

NOTA: Por definición una máquina recibe un tipo de energía para transformarla de forma apropiada, ejemplo recibe energía eléctrica y la transforma en energía mecánica o viceversa, como el transformador cambia las características de la energía también se le denomina máquina.

El transformador por ser una máquina estática tiene ventajas sobre las máquinas rotativas debido a que no tiene pérdidas mecánicas, las únicas pérdidas del transformador son eléctricas y del hierro, por tal razón su rendimiento es alto.

En la figura 1.1 se puede apreciar un transformador sencillo, en el cual están las bobinas eslabonadas por un núcleo magnético común, El bobinado que se conecta al primario se denomina primario, mientras que el bobinado que se induce el voltaje y además alimenta la carga se denomina secundario.



2.1 FUNCIONAMIENTO

Un transformador funciona bajo el principio de inducción electromagnética, dos bobinas son acopladas inductivamente, el flujo magnético que atraviesa por una de ellas, atraviesa por la otra en forma parcial o total, dando como consecuencia que las dos bobinas tengan un circuito magnético común.

Al conectar una fuente de corriente alterna y sinusoidal a una bobina o conjunto de bobinas denominado primario, la corriente y el flujo resultantes cambia de forma periódica y automática en magnitud y dirección provocando que cambie el flujo que eslabona a las bobinas acopladas, induciéndose un voltaje (voltaje transformado) en la segunda bobina denominado secundario por la acción transformadora.

Si no se tiene movimiento relativo entre las bobinas, la frecuencia del voltaje inducido en el secundario será igual a la frecuencia del primario., Al conectar una carga al secundario provocará que circule una corriente, por lo tanto se ha transferido la energía de circuito a otro sin tener ningún tipo de conexión eléctrica solo por acción electromagnética (acción transformadora).

1.3 TIPOS DE TRANSFORMADORES.

Existe una gran variedad de los tipos de transformadores existentes debido que son equipos que transforman la energía eléctrica, la misma que tiene diferentes aplicaciones detalladas a continuación:

- **Transformador elevador o reductor de voltaje.** Empleados en las subestaciones eléctricas de la redes de transporte de energía eléctrica. Con el fin de disminuir las pérdidas por efecto Joule debidas a la resistencia de los conductores conveniente transportar la energía eléctrica a larga distancia a voltajes elevados, siendo necesario reducir nuevamente dichos voltajes para adaptarlas a las de utilización.
- **Transformador de aislamiento.** Proporciona aislamiento galvánico entre el primario y el secundario, de manera que consigue una alimentación o señal "flotante". Suele tener una relación 1:1. Se utiliza principalmente, como medida de protección, en equipos que trabajan directamente con el voltaje de red. También para acoplar señales procedentes de sensores lejanos, en equipos de electromedicina y allí donde se necesitan voltajes flotantes entre sí.
- **Transformador de alimentación.** Pueden tener una o varias bobinas secundarias y proporcionan los voltajes necesarios para el funcionamiento del equipo. A veces incorporan fusibles que cortan su circuito primario cuando el transformador alcanza una temperatura excesiva, evitando que éste se queme debido a la emisión de humos y gases que conlleva dicha temperatura, incluso con el riesgo de incendio. Estos fusibles no suelen ser reemplazables, de modo que hay que sustituir todo el transformador.
- **Transformador trifásico.** Tienen tres bobinados en su primario y tres en su secundario. Pueden adoptar forma de estrella (Y) (con hilo de neutro o no) o de triángulo (Δ) y las combinaciones entre ellas: Δ - Δ , Δ -Y, Y- Δ y Y-Y. Se debe tener en

cuenta que aún con relaciones 1:1, al pasar de Δ a Y o viceversa, los voltajes varían en relación a la raíz de tres ($\sqrt{3}$)

- **Transformador de pulsos.** Es un tipo especial de transformador con respuesta muy rápida (baja autoinducción) destinado a funcionar en régimen de pulsos.
- **Transformador de línea o flyback.** Es un caso particular de transformador de pulsos. Se emplea en los **televisores con TRC (CRT)** para generar el alto voltaje y la corriente para las bobinas de deflexión horizontal. Además suele proporcionar otros voltajes para el tubo (Foco, filamento, etc.).
- **Transformador con diodo dividido.** Es un tipo de transformador de línea que incorpora el diodo rectificador para proporcionar el voltaje continuo de MAT directamente al tubo. Se llama diodo dividido porque está formado por varios diodos más pequeños repartidos por el bobinado y conectados en serie, de modo que cada diodo sólo tiene que soportar un voltaje inverso relativamente bajo. La salida del transformador va directamente al ánodo del tubo, sin diodo ni triplicador.
- **Transformador de impedancia.** Este tipo de transformador se emplea para adaptar antenas y líneas de transmisión (Tarjetas de red, teléfonos...) y era imprescindible en los amplificadores de válvulas para adaptar la alta impedancia de los tubos a la baja de los altavoces.

Si se coloca en el secundario una impedancia de valor Z , y llamamos n a $\frac{N_s}{N_p}$, como

$$I_s = \frac{-I_p}{n} \text{ y } E_s = E_p \cdot n, \text{ la impedancia vista desde el primario será } \frac{E_p}{I_p} =$$

$-\frac{E_s}{n^2 \cdot I_s} = \frac{Z}{n^2}$. Así, hemos conseguido transformar una impedancia de valor Z en otra de $\frac{Z}{n^2}$.

Colocando el transformador al revés, lo que hacemos es elevar la impedancia en un factor n^2 .

Estabilizador de voltaje. Es un tipo especial de transformador en el que el núcleo se satura cuando el voltaje en el primario excede su valor nominal. Entonces, las variaciones de voltaje en el secundario quedan limitadas. Tenía una labor de

protección de los equipos frente a fluctuaciones de la red. Este tipo de transformador ha caído en desuso con el desarrollo de los reguladores de tensión electrónicos, debido a su volumen, peso, precio y baja eficiencia energética.

Transformador híbrido o bobina híbrida. Es un transformador que funciona como una híbrida. De aplicación en los teléfonos, tarjetas de red, etc.

Balun. Es muy utilizado como balun para transformar líneas equilibradas en no equilibradas y viceversa. La línea se equilibra conectando a masa la toma intermedia del secundario del transformador.

Transformador Electrónico: Este posee bobinas y componentes electrónicos. Son muy utilizados en la actualidad en aplicaciones como cargadores para celulares. No utiliza el transformador de núcleo en si, sino que utiliza bobinas llamadas Filtros de red y bobinas CFP (Corrector factor de potencia) de utilización imprescindible en los circuitos de fuente de alimentaciones conmutadas.

Transformador de Frecuencia Variable: Son pequeños transformadores de núcleo de hierro, que funcionan en la banda de audiofrecuencias. Se utilizan a menudo como dispositivos de acoplamiento en circuitos electrónicos para comunicaciones; medidas y control.

Transformadores de medida: Entre los transformadores con fines especiales, los más importantes son los transformadores de medida para instalar instrumentos, contadores y relés protectores en circuitos de alto voltaje o de elevada corriente. Los transformadores de medida aíslan los circuitos de medida o de relés, permitiendo una mayor normalización en la construcción de contadores, instrumentos y relés.

CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CONSTRUCCIÓN:

Autotransformador. El primario y el secundario del transformador están conectados en serie, constituyendo un bobinado único. Pesa menos y es más barato que un

transformador y por ello se emplea habitualmente para convertir 220V a 125V y viceversa y en otras aplicaciones similares. Tiene el inconveniente de no proporcionar aislamiento galvánico entre el primario y el secundario.

Transformador toroidal. El bobinado consiste en un anillo, normalmente de compuestos artificiales de ferrita, sobre el que se bobinan el primario y el secundario. Son más voluminosos, pero el flujo magnético queda confinado en el núcleo, teniendo flujos de dispersión muy reducidos y bajas pérdidas por corrientes de Foucault.

Transformador de grano orientado. El núcleo está formado por una chapa de hierro de grano orientado, enrollada sobre sí misma, siempre en el mismo sentido, en lugar de las láminas de hierro dulce separadas habituales. Presenta pérdidas muy reducidas pero el costo es elevado. La chapa de hierro de grano orientado puede ser también utilizada en transformadores orientados (chapa en E), reduciendo sus pérdidas.

Transformador de núcleo de aire. En aplicaciones de alta frecuencia se emplean bobinados sobre un carrete sin núcleo o con un pequeño cilindro de ferrita que se introduce más o menos en el carrete, para ajustar su inductancia.

Transformador de núcleo envolvente. Están provistos de núcleos de ferrita divididos en dos mitades que, como una concha, envuelven los bobinados. Evitan los flujos de dispersión.

Transformador piezoeléctrico. Para ciertas aplicaciones han aparecido en el mercado transformadores que no están basados en el flujo magnético para transportar la energía entre el primario y el secundario, sino que se emplean vibraciones mecánicas en un cristal piezoeléctrico. Tienen la ventaja de ser muy planos y funcionar bien a frecuencias elevadas. Se usan en algunos convertidores de voltaje para alimentar los fluorescentes del backlight de ordenadores portátiles.

CAPITULO II

DE LOS TRANSFORMADORES

CONEXIONADO

2.1 POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR.

INTRODUCCIÓN.

La polaridad en un transformador es identificar el terminal por cual entra la corriente de la fuente y por cual terminal sale la corriente hacia la carga, entendiéndose como polaridad a la dirección relativa de la fem inducida en cada devanado.

Es importante determinar la polaridad del transformador cuando se realiza acoplamientos en paralelo, cuando se realiza conexiones trifásicas, o se cuando se forman bancos de transformadores.

Antes de empezar a determinar la polaridad relativa instantánea se identifica mediante el multímetro la continuidad del arrollamiento, esto quiere decir que se identifica cada una de las bobinas del transformador.

Después de haber identificado los extremos de las bobinas mediante los ensayos de identificación de fases, se determina la polaridad relativa instantánea, usando un voltímetro de c.a. y una fuente de tensión de c.a. adecuada (de tensión nominal o inferior).

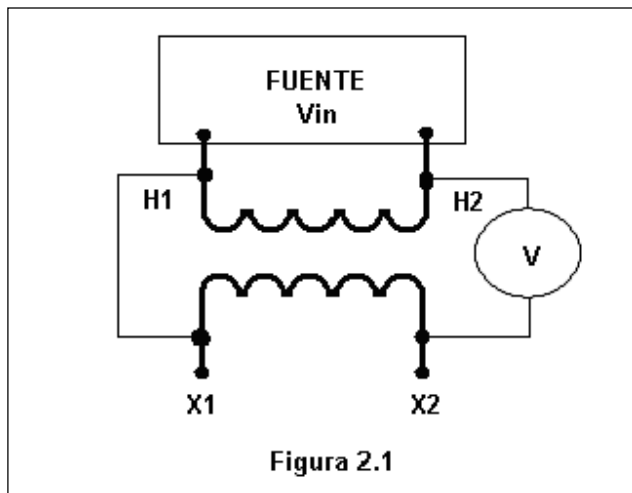
Polaridad de un transformador.

El ensayo de polaridad como se desarrolla a continuación (Ver figura 2.1)

Se asigna a los terminales ubicados a la izquierda con las letras H1 y X1 respectivamente, se conecta por medio de un puente estos puntos., se alimenta el devanado H1 y H2 con c.a. (V_{in}), por medio de un voltímetro (V) que estará conectado entre H2 y X2, se realiza las lecturas dándonos como resultado:

$V > V_{in}$ la polaridad es aditiva.

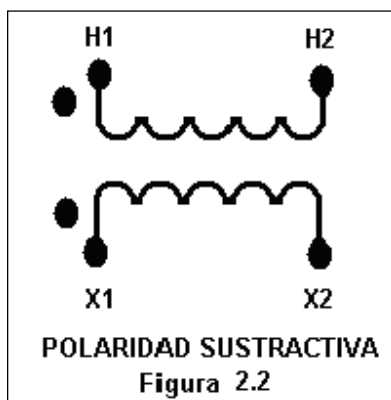
$V < V_{in}$ la polaridad es sustractiva.

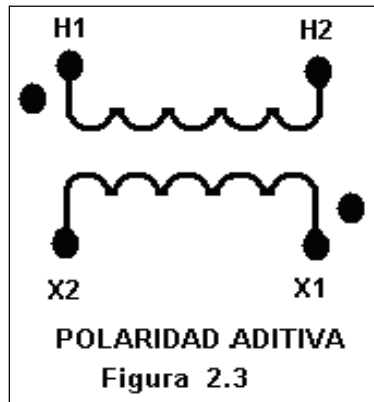


Para marcar la polaridad se lo hace por medio de un punto (\cdot), asterisco ($*$) o una cruz (x), Para el lado de alto voltaje (H1), mientras que al otro se le marca solo con la letra (H2).- De igual forma se marca con un punto (\cdot), asterisco ($*$) o una cruz (x), al lado de bajo voltaje (X1), mientras que el otro lado se señala con la letra (X2).

Cuando la polaridad es sustractiva los puntos de marca de la bobina de alta como la de baja quedan al lado izquierdo (ver figura 2.2).

Cuando la polaridad es aditiva los puntos de marca estarán cruzados (ver figura 2.3).





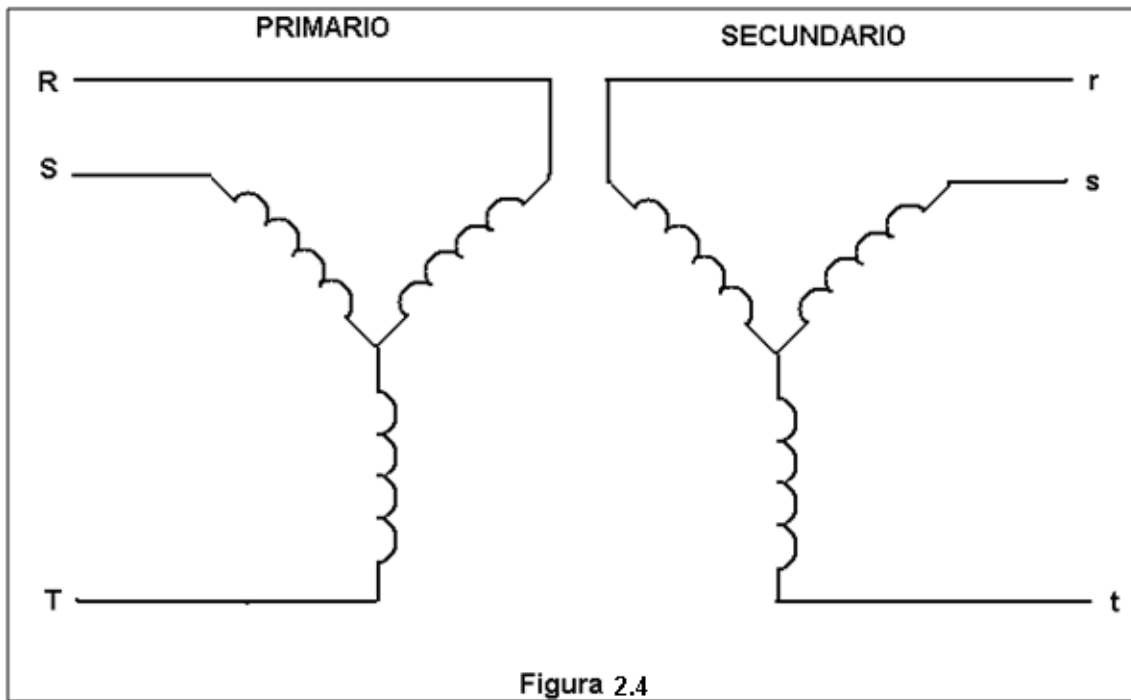
2.2 CONEXIONES TÍPICAS DE LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

Se habla de conexiones típicas de los transformadores cuando se conectan entre si los arrollamientos de distinta fase, en los transformadores trifásicos los sistemas de conexión pueden ser en estrella (Y), en delta (Δ), conexión delta abierta (V-v) o conexión en zigzag (Z).

Las conexiones más usuales son en delta y estrella sin embargo es necesario explicar la conexión abierta en caso de transformadores suplementarios o adicionales y la conexión abierta que se emplea únicamente para bajo voltaje.

2.2.1 CONEXIÓN ESTRELLA – ESTRELLA (Y-y) SIN NEUTRO.

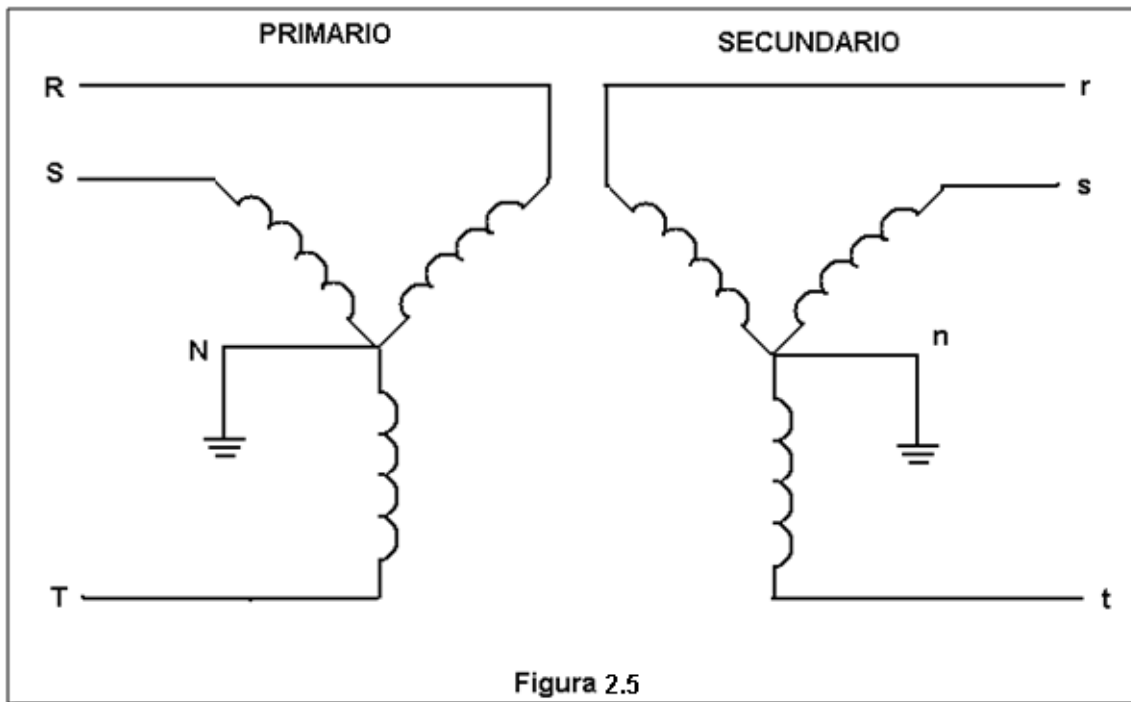
Esta conexión no se la utiliza a menudo ya que tiene el inconveniente de tener cargas desequilibradas, se producen flujos alternos que provocan desplazamiento del neutro, además que tienen muchos armónicos que afectan directamente a la carga., Diagrama de conexión ver figura 2.4.



2.2.2 CONEXIÓN ESTRELLA – ESTRELLA (Y-y) CON NEUTRO.

Todos los factores que afectaban en la conexión Y-y sin neutro se mejoran al conectar el neutro debido a que se lo aterriza de manera que se suprimen los terceros armónicos, se equilibra las cargas y evita que se desplace el neutro, etc., A pesar de tener mejorías no es muy conveniente debido a que permite que circulen armónicos en vacío, al añadir un devanado terciario conectado en triángulo se anulan los flujos homo polares, causados por armónicos así como los desequilibrios de carga.

En la practica no son muy usuales estas conexiones, ver el diagrama de conexión de la figura 2.5.

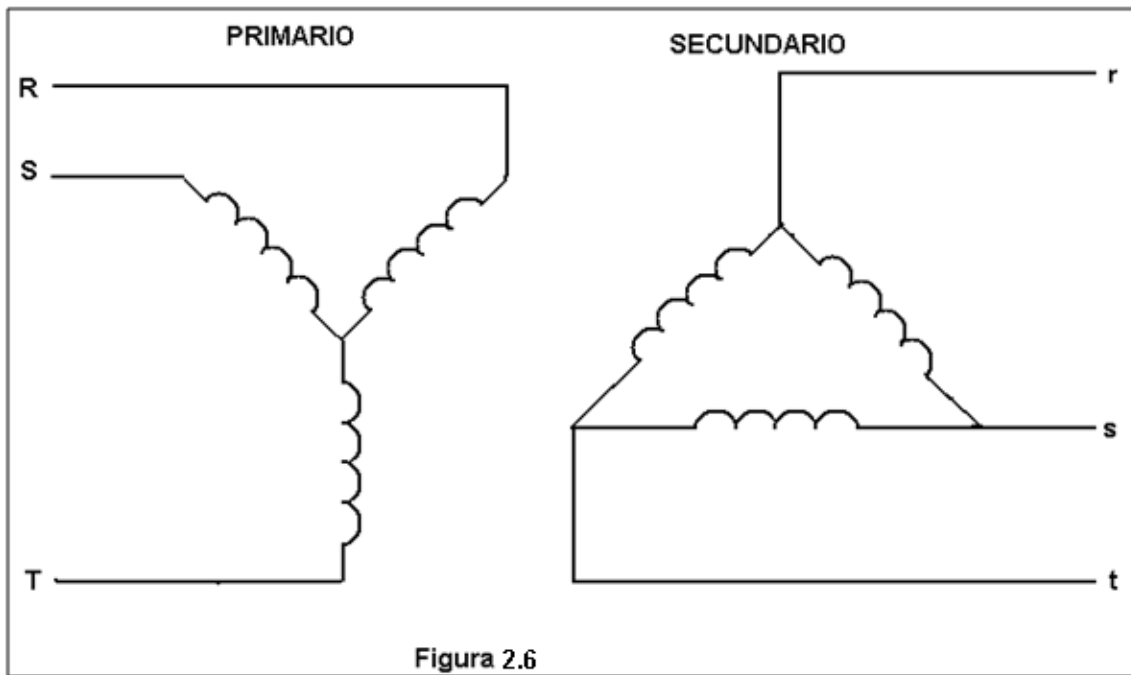


2.2.3 CONEXIÓN ESTRELLA - DELTA (Y- Δ)

Este tipo de conexión ya no tiene problemas de armónicos debido a que la corriente circulante se genera en el secundario, estos armónicos al estar en triángulo en el secundario no se desequilibra con cargas desequilibradas, ya que el triángulo distribuye cualquier desequilibrio parcialmente.

A pesar de de las ventajas sobre las conexiones antes mencionadas, causa inconvenientes al conectar en paralelo los secundarios de los transformadores ya que los voltajes están desfasados 30° (eléctricos) el secundario respecto al primario.

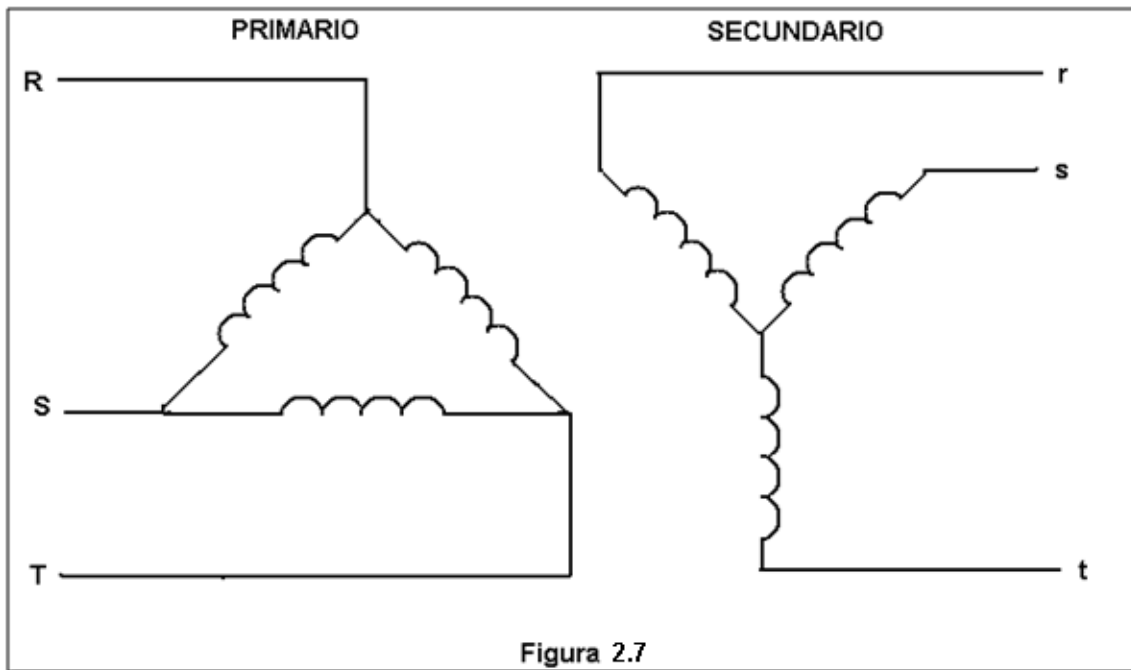
Este tipo de conexiones es usual en transformadores de sistemas de alto voltaje en el extremo reductor de voltaje de línea ya que permite colocar el neutro a tierra, con lo que el potencial es limitado sobre cualquiera de las fases de voltaje simple del sistema, diagrama de conexión ver figura 2.6.



2.2.4 CONEXIÓN DELTA – ESTRELLA (Δ -y).

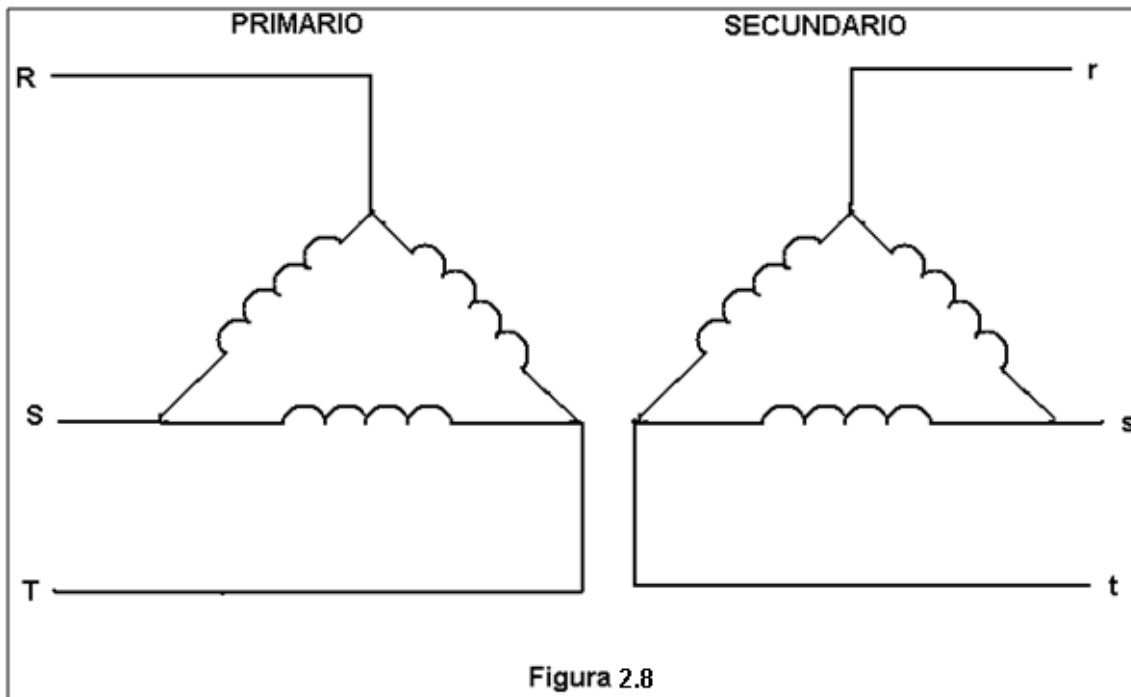
Este tipo de conexiones son más comunes en transformadores de distribución, este tipo de conexión permite acoplar cargas tanto trifásicas como monofásicas, ya que al conectar cargas monofásicas se producen desequilibrios los cuales son compensados por el primario.

Es común ver esta conexión en las redes de alta tensión ya que le utilizan como transformador elevador, diagrama de conexión ver figura 2.7.



2.2.5 CONEXIÓN DELTA – DELTA ($\Delta-\Delta$).

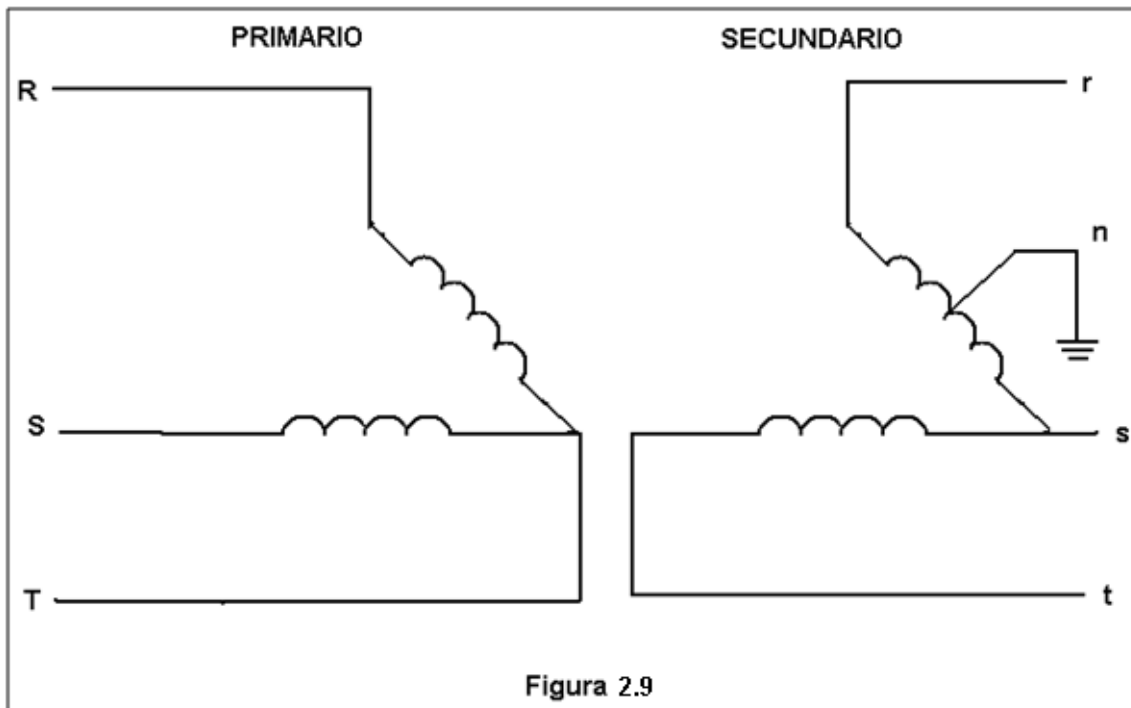
Esta conexión es típica de los transformadores de baja tensión, la característica es su comportamiento con cargas desequilibradas, ya que no tiene mayores problemas, esta constituido por varias espiras por fase y de menor sección que los casos anteriores, diagrama de conexión ver figura 2.8.



2.2.6 CONEXIÓN ABIERTA (V-v).

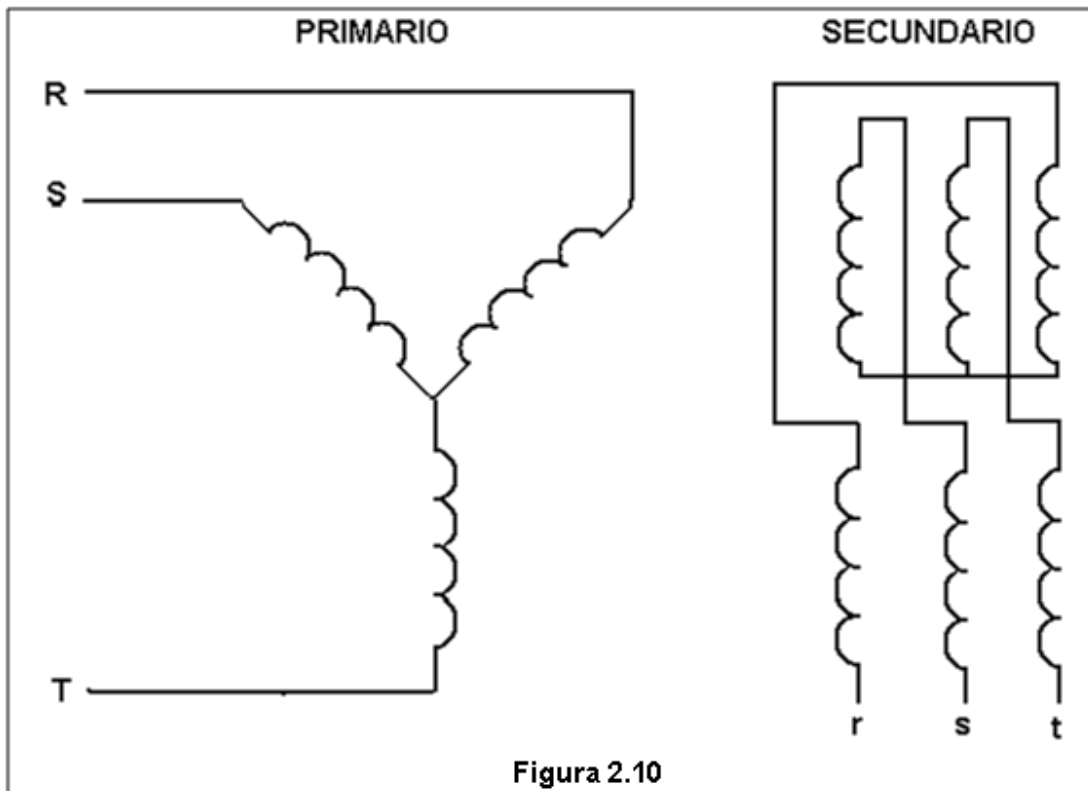
Este tipo de conexión es una adaptación de la anterior en la que el sistema trifásico esta conformado por un banco de transformadores monofásicos, este tipo de conexión es utilizado en la industria ya que al ser banco de transformadores puede retirarse un transformador y el sistema seguir trabajando en un 58% de carga máxima.

Otra de las ventajas es la de poder brindar servicio eléctrico dual con la conexión del neutro, diagrama de conexión ver figura 2.9.



2.2.7 CONEXIÓN ABIERTA (Y-z).

Este tipo de conexiones únicamente se las realiza al lado de baja tensión, se utiliza en redes de distribución ya que al permitir conexión del neutro las cargas pueden ser equilibradas o desequilibradas sin mayor inconveniente, estas en su construcción requieren de un 15% más de espiras que una bobina convencional en estrella, diagrama de conexiones ver figura 2.10.



2.3 GRUPO DE CONEXIÓN.

El grupo de conexiones de un transformador están normalizadas y clasificado por grupos, según las normas VDE.- El grupo de conexión nos indica el parentesco que tiene un transformador y si es compatible para poner transformadores en paralelo, ya que solo pueden entrar en paralelo transformadores que tengan el mismo grupo de conexión

A cada grupo le corresponde su conexión y un número el cual al multiplicarlo por 30° que es el desfase normal entre primario y secundario, obtenemos el desfase del grupo (secundario respecto al primario)

A continuación ejemplo:

Dy5

Según la VDE pertenece al grupo C, se desarrolla de la siguiente manera:

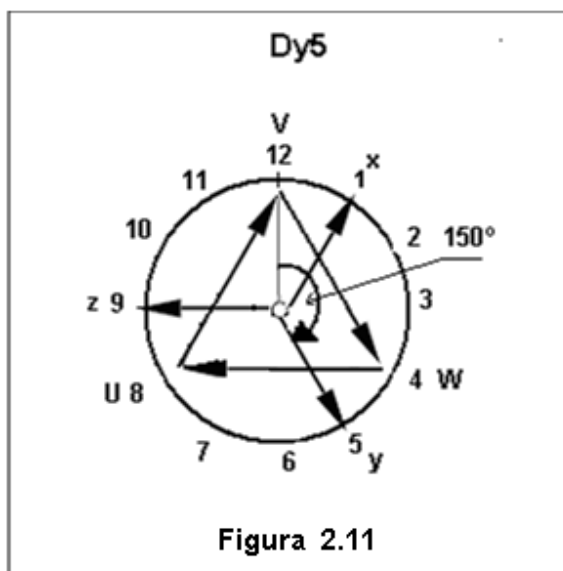
D → Conexión del primario (delta)

Y → Conexión del secundario (estrella)

5 → Número de grados en desfase del secundario respecto al primario

Entonces $5 \times 30^\circ = 150^\circ$ Desfase del secundario con respecto al primario.

Desfase del secundario respecto al primario ver figura 2.11.



2.4.1 CLASIFICACIÓN DEL GRUPO DE CONEXIONES SEGÚN NORMAS VDE, PRUEBAS.

Transformadores trifásicos. Los transformadores trifásicos están clasificados según su conexión de acuerdo con las normas VDE, y a saber se tiene cuatro diferentes grupos de conexión, que son los siguientes:

Grupo A: En este grupo tenemos las conexiones Dd0, Yy0 y Dz0.- Para comprobar si el transformador pertenece a este grupo se realiza la siguiente prueba:

Prueba: Por medio de un puente se une U con u, se energiza el primario por UVW y se realiza las siguientes mediciones: Vv, Ww, UV y Vw, nos debe dar como resultado que: $Vv = Ww$, $Vv < UV$ y $Vv < Vw$.

Grupo B: En este grupo tenemos las conexiones Dd6, Yy6, y Dz6.

Prueba: Para comprobar si el transformador pertenece a este grupo de conexión se realiza la misma prueba que para el grupo A, con los siguientes resultados: $Vv = Ww$, $Vv > UV$ y $Vv > Vw$.

Grupo C: En este grupo tenemos las conexiones Dy5, Yd5 y Yz5.

Prueba: Por medio de un puente se une U con u, se energiza el primario por UVW y se realiza las siguientes mediciones: Vv, Ww, UV, Vw y Wv, como resultado nos debe dar que: $Vv = Vw$, $Vw > UV$ y $Ww > Wv$.

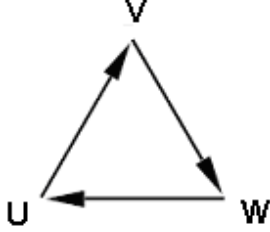
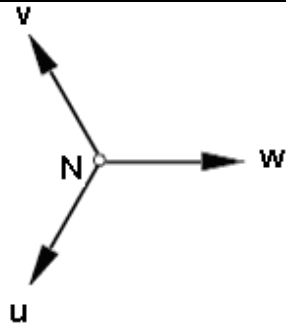
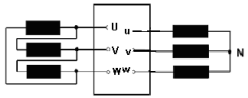
Grupo D: En este grupo tenemos las conexiones Dy11, Yd11 y Yz11.

Prueba: Para comprobar si el transformador pertenece a este grupo de conexión se realiza la misma prueba que para el grupo C, con los siguientes resultados: $Vv = Vw$, $Vw < UV$ y $Ww < Wv$.

A continuación se detalla un cuadro de las diferentes conexiones comúnmente utilizadas.

Grupo de conexión	Esquema Fasorial		Esquema de conexiones
	Alto voltaje	Bajo voltaje	
Dd0			
Yy0			
Dd6			
Yy6			

Yd1			
Dy1			
Yd5			
Dy5			
Yd11			

Dy11			

3.1 CALCULO DE LOS TRANSFORMADORES**GENERALIDADES.**

Los cálculos de un transformador vienen a ser las especificaciones técnicas en cuanto a construcción se refiere, cada transformador tiene un determinado valor de cálculo pero en cuanto a procedimiento y desarrollo es el mismo.

Para nuestro manual tomaremos un ejemplo practico en el cual se citará cada uno de los pasos a seguir, los transformadores de distribución son los más comunes y deben diseñarse con una buena eficiencia que cubra “todo el día” y no para la eficiencia sea mas alta a plena carga, ya que son transformadores auto enfriados en su mayoría sumergidos en aceite dieléctrico, están continuamente en operación ya sea que tome corriente la carga o no la tome, las pérdidas del hierro deberán ser menores a las perdidas del cobre a plena carga cuya característica tienen los transformadores de potencia.

Los datos que se utilizan para el cálculo del diseño deben siempre ajustarse al sistema eléctrico de potencia de cada región, estos datos son generalmente: voltajes del primario, voltajes del secundario tanto en las líneas como en las fases con carga, para $\cos \varphi = 1$ o 0,8 y su capacidad en KVA, así también no se puede dejar de lado los parámetros eléctricos tales como: porcentaje de impedancia (%Z), porcentaje de la corriente de excitación (%I₀), las pérdidas en vacío (P_{Fe}), las pérdidas de carga (P_{Cu}) y la eficiencia, estos parámetros restricciones de garantía.

Los cálculos que realizaremos son validos para cualquier otro ya que se calculará por unidad ya que un transformador trifásico se conforma de tres transformadores monofásicos., Como datos se tiene:

Diseñar un transformador tipo poste de 75KVA, 13200/220-127 voltios, 60Hz, 65°C, que tenga ±2 derivaciones en alto voltaje del 25% cada una, conexión Δ-Y.

Como se dijo anteriormente el cálculo de un transformador trifásico son tres bobinas monofásicas con lo cual se tiene que:

$$KVA_{1\phi} = \frac{KVA_{3\phi}}{3} = \frac{75KVA}{3} = 25KVA$$

Tabla 3.1. Voltajes nominales preferenciales

Clase de aislamiento (KV)	Voltajes (V)
1.2	120/240
	240/120
	220/127
	440/254
	480/277
5	4,160
8,7	7,620
15	13,200
	13,800
25	19,050
	20,000
	22,860
	23,000
34,5	33,000

	34,500
46	46,000
69	66,000

Tabla 3.2.Eficiencias mínimas permitidas en los transformadores de distribución (en %).

Tipo de alimentación	Capacidad (KVA)	Clase de aislamiento		
		Hasta 15 Kv	Hasta 25 Kv	Hasta 34,5 Kv
M O N O F A S I C O	5	97,90	97,80	97,70
	10	98,25	98,15	98,05
	15	98,40	98,30	98,20
	25	98,55	98,45	98,35
	37,5	98,65	98,55	98,45
	50	98,75	98,65	98,55
	75	98,90	98,80	98,70
	100	98,95	98,85	98,75
T R I F A S I C O	167	99,00	98,90	98,80
		97,95	97,85	97,75
		98,25	98,15	98,05
		98,35	98,25	98,15
		98,50	98,40	98,30
		98,60	98,50	98,40
		98,70	98,60	98,50
		98,75	98,65	98,55
	98,80	98,70	98,60	
	98,90	98,80	98,70	

Tabla 3.3. Impedancias normalizadas.

Fases	Voltajes AV	%Z
1ϕ	13200	2 a 3
	13200 YT / 7620	
3ϕ	13200	2 a 3
	23000	2 a 3,25
	33000	2 a 3,5

De entrada se considera que el transformador a ser construido tendrá un arreglo de bobina (baja tensión – alta tensión), y que el **devanado de bajo voltaje (B.V.) se elaborará con hoja de aluminio en lugar de cobre**, esto con la finalidad de reducir el peso del transformador, además de que reducimos también los efectos electromagnéticos producidos por las corrientes de cortocircuito.

Cabe notar que al requerirse un gran número de transformadores en los sistemas de distribución actualmente se prefiere diseñarlos con núcleos arrollados (tipo Wescor) en lugar de utilizar núcleos apilados, dado que tiene la ventaja de la producción en serie además que son mucho más eficientes en operación.

3.2. Cálculo de los voltajes y corrientes en los devanados.

Para el primario por ser conexión delta, el voltaje de línea será igual a los volts / bobina. Consideramos las derivaciones extremas y la nominal, tenemos que:

Posición No.	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>
Volts de línea	13860	13200	12540

- Corriente nominal en el primario,

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{25 \text{ KVA}}{13,2 \text{ K}} = 1,89 \text{ A}$$

- Corriente en las posiciones 1 y 5,

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_{p1}} = \frac{25 \text{ KVA}}{13,86 \text{ KV}} = 1,80 \text{ A}$$

$$I_{p5} = \frac{KVA}{V_{p5}} = \frac{25 \text{ KVA}}{12,54 \text{ KV}} = 1,99 \text{ A}$$

Para el secundario la tensión de fase es 127volts

- Corriente de fase al secundario,

$$I_{sf} = \frac{KVA}{KV} = \frac{25 \text{ KVA}}{0,127 \text{ KV}} = 196,85 \text{ A}$$

3.3. Cálculo del número de espiras, sección del conductor y sección del núcleo.

3.3.1. Espiras y sección del conductor

- *Determinación del numero de espiras (espiras vuelta)*

Se puede determinar el número inicial de espiras mediante dos métodos que son:

- A partir de un diseño similar a disposición.
- Mediante la determinación empírica de la relación $V_t = \text{Volts} / \text{vuelta}$, en cuyo caso utilizamos la siguiente formula.

$$V_t = 1.1 \sqrt{\frac{KVA_{1\phi}}{(Z/5)^{1/2}}}$$

Donde:

Z = % de impedancia (3%), (de la tabla 3.3.Pag. 23)

$KVA_{1\phi}$ = KVA monofásicos del transformador (25 KVA)

Por lo tanto:

$$N1 = \frac{V1}{V_t} \quad Y \quad N2 = \frac{V2}{V_t},$$

Despejando valores tenemos que:

$$V_t = 1.1 \sqrt{\frac{25_{1\phi}}{(3/5)^{1/2}}} = 6,249$$

$$V_t \approx 6,25$$

También utilizando la siguiente expresión:

$$V_t = \frac{1}{c} \sqrt{(\text{rendimiento en volta - amperes})_{3\phi}}$$

Donde:

Rendimiento en volta-amperes

c= toma valores dependiendo el tipo de núcleo

Valores de c para los tipos de núcleo:

Tipo columna (core), c= 40 – 70.

Tipo acorazado (Shell), c= 25 – 40.

Para los diseños se toma valores promedios, ya que los valores bajos corresponden a tensiones bajas y frecuencias altas.

O directamente podemos utilizar los KVA monofásicos, con la siguiente expresión:

$$Vt = c\sqrt{KVA}$$

Donde c toma los siguientes valores:

Tipo columna (core), $c = 0,6 - 0,9$.

Tipo acorazado (Shell), $c = 0,9 - 1,3$.

Retomando el cálculo por conveniencia del diseño, primero calculamos el número de espiras del devanado secundario.

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{127 \text{ V}}{6,25} = 20,32 \text{ espiras,}$$

Por razones de elaboración se toman números enteros, para nuestro caso el número entero próximo es 20 espiras, con este dato se re calcula los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario:

$$Vt = \frac{120}{20} = 6,35$$

Entonces se tiene que:

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{13200}{6,35} = 2078,74 \text{ espiras}$$

Para el dato real seria: $N1 = 2079 \text{ espiras}$, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tab ejem:

$$N1t1 = \frac{13860}{6,35} = 2182,671 \approx 2183 \text{ espiras},$$

O en su defecto se puede calcular considerando el porcentaje del 5% arriba del valor nominal de la siguiente forma:

$$2079 \text{ espiras} \times 1,05 = 2183 \text{ espiras}$$

En resumen de la regulación se tiene que:

Posición	Volts	Espiras
1	13860	2183
2	13530	2131
3	13200	2079
4	12870	2027
5	12540	1975

En la figura 3.1, se muestra el plano abierto de los devanados.

De la tabla de calibres de conductores (anexo 1), se puede observar que 0,663 mm² corresponde a un calibre número 19 AWG, para la bobina de A.T.

Para el lado de baja tensión se tiene que:

$$A_{conductor} = \frac{I_{p5}}{\delta} = \frac{196,85A}{3 A/mm^2} = 65,61 mm^2$$

De la tabla de calibres de conductores (anexo 1), se puede observar que 65,61mm² corresponde al número 2/0 AWG, para la bobina de B.T., cabe aclarar que es conveniente utilizar conductores en solera de cobre u hoja de aluminio para la mejor utilización de espacio.

Como se dijo en este capítulo en la sección 3.1 (pág. 23), utilizaremos hoja de aluminio, lógicamente se devanará una espira por capa, lo que reducirá considerablemente la reactancia inductiva en el arrollamiento secundario.

3.4. Calculo de la sección transversal del núcleo y sus dimensiones geométricas.

Luego de calculadas las espiras tanto del lado de alta como el lado de baja y fijándonos una densidad de flujo magnético (B^2) de 16000 gauss, entonces se puede calcular la sección transversal del núcleo (A), aplicando la ecuación general del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4,44 f N B} (cm^2)$$

$V = 13200 \text{ volts}$

$f = 60 \text{ Hz}$

$B = 160000 \text{ gauss}$

$N = \text{número de espiras}$

Reemplazando valores a la expresión se tiene que:

$$A = \frac{13200 \times 10^8}{4,44 (60) (2079) (16000)} (cm^2)$$

Otra forma de calcular el área trasversal es aplicando formulas experimentales:

$$A = \sqrt{7,09 (45,6KVA_{3\phi})} \text{ cm}^2$$

O también

$$A = \sqrt{21,27 (45,6KVA_{1\phi})} \text{ cm}^2$$

Las formulas anteriormente mencionadas se aplican con densidades de flujo magnético (B), de 15000 a 16000 gauss.

Si usamos acero eléctrico grado $M - 4^3$ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e), lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97, en cambio para núcleos apilados el (f_e) está entre 0,93 a 0,95, para el cálculo que se esta realizando utilizaremos un (f_e) de 0,97, de allí tenemos que:

$$A_n = A_f \cdot f_e$$

Donde:

A_n : Area neta

A_f : Area física

f_e : Factor de apilamiento, o de laminación, conocido también como factor de espacio.

Despejando A_f de la ecuación anterior tenemos que:

$$A_f = \frac{A_n}{f_e} = \frac{148,9 \text{ cm}^2}{0,97} = 153,5 \text{ cm}^2$$

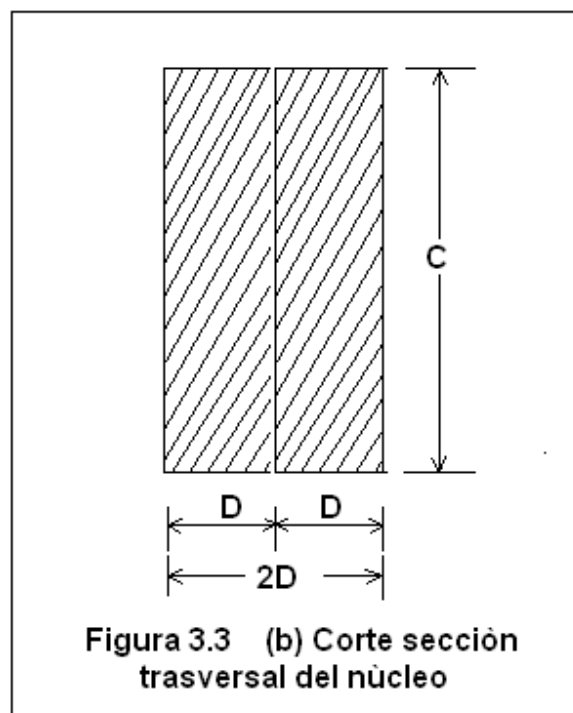
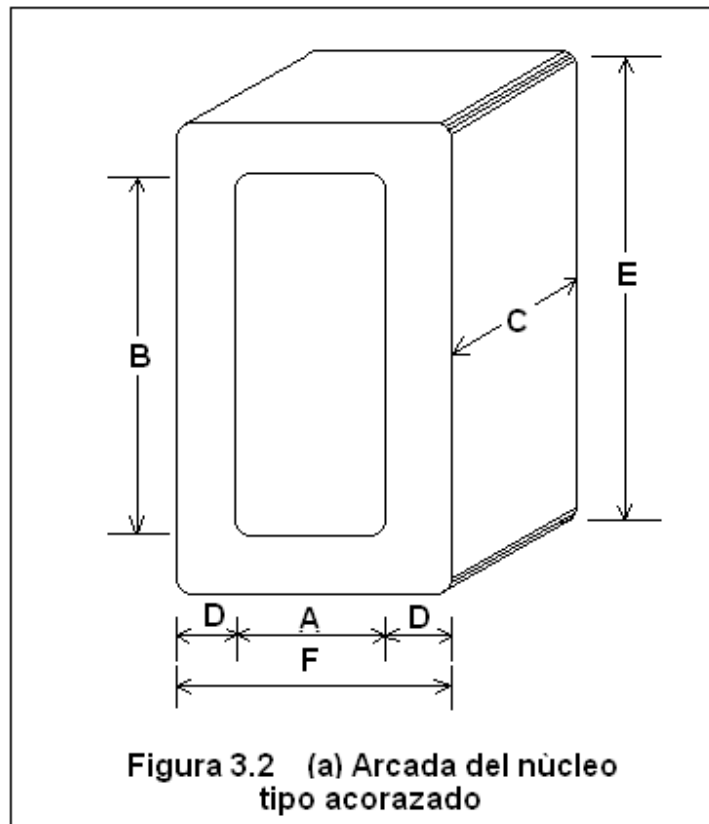
Para las secciones transversales rectangulares para nuestro caso consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

$C = (2 \text{ a } 3) 2D$, para núcleo tipo acorazado.

$C = (1,4 \text{ a } 2) D$, para núcleo tipo columna.



Tomando el ancho de lámina (C) de 21,0 cm, considerando el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (A_f), como muestra la figura 3.3 (b), tenemos la siguiente expresión:

$$2D = \frac{A_f}{C} = \frac{153,5 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 7,31 \text{ cm}$$

$$2D = 73,1 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un paquete o espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\text{No. Laminaciones} = \frac{2D}{0,28} = \frac{73,1 \text{ mm}}{0,28 \text{ mm}} = 261 \text{ vueltas}$$

Por lo general la altura de la ventana (B) (ver figura 3.2 (a)), es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), si tomamos el valor de 3,25 se tiene qué:

$$B = 2D \times 3,25$$

$$B = 73,1 \text{ mm} \times 3,25 = 2,375 \text{ mm}$$

$$B = 23,75 \text{ cm}$$

3.5. Cálculo de las dimensiones de la bobina, del ancho de la ventana y arcadas del núcleo.

Con los cálculos preliminares que realizamos obtuvimos los datos principales que nos ayudarán a la determinación de las bobinas del transformador y el ancho de la ventana de las arcadas del núcleo.

3.5.1. Dimensiones del bobinado de bajo voltaje (B.V.)

El conductor a usar en el bobinado de B.V. se lo elaborará en hoja de aluminio (foil de aluminio), esto implica modificaciones o ajustes en el valor de la sección del conductor., Para el cobre tenemos una área $A_{cond} = 65,61 \text{ mm}^2$, al ser aluminio debemos compensar el área en un 61%, para que haya equivalencia de conductividad y de pérdidas de carga, entonces se tiene que:

$$A_{cond}(Al) = A_{cond}(Cu) \times 1,61$$

$$A_{cond}(Al) = 65,61 \text{ mm}^2 \times 1,61$$

$$A_{cond}(Al) = 105,63 \text{ mm}^2,$$

O también mediante la siguiente fórmula:

$$A_{cond.}(Al) = \frac{I_s}{\delta} = \frac{196,65 \text{ A}}{1,86 \text{ Al mm}^2} = 105,83 \text{ mm}^2$$

Donde:

$\delta = \text{densidad del aluminio}$, Este valor esta considerado en proporción inversa a la conductividad del cobre.

Para calcular la altura del devanado, se considera el nivel básico de impulso (NBI), así tenemos que para baja tensión corresponde una clase de aislamiento de 12KV y un NBI de 30KV, como se muestra en la tabla 3.5.

La altura efectiva del devanado (ver figura 3.4) será de:

$$h_s = B - 2(d_a + r_c)$$

Donde:

h_s ; Altura efectiva del devanado

B ; Altura ventana núcleo

d_a ; Distancia de aislamiento axial (collar + aisl. del yugo)

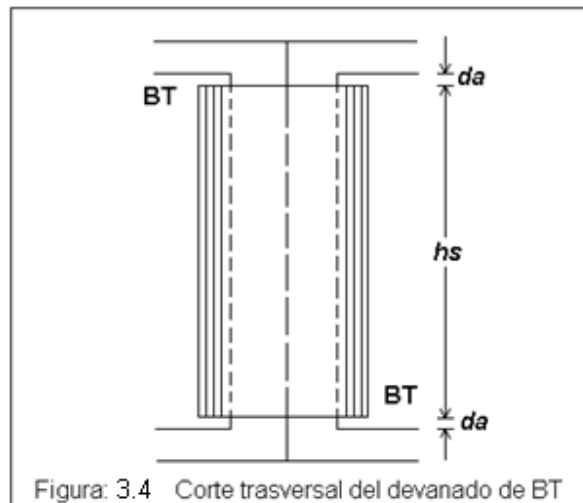
$r_c = 3,17$ mm (radio de curvatura del núcleo)

Reemplazando valores tenemos lo siguiente:

$$h_s = 23,75 \text{ cm} - 2(0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$h_s = 23,75 \text{ cm} - 2,23 \text{ cm}$$

$$h_s = 21,52 \text{ cm} \text{ } \hat{=} \text{ } 215,2 \text{ mm.}$$



Observando las tablas 3.4 y 4.6, de calibres BWG de láminas de aluminio, tenemos que el más próximo para el área calculada es tomar dos calibres, el calibre 30 y el 34 para el espesor de 0,484mm (BWG # 30 y 34 aleación 2S-H14, temple suave),

entonces el bobinado de B.T., consistirá de 20 vueltas, de una vuelta por capa, para un total de 20 capas.

El espesor o dimensión radial de la bobina de B.T., será de:

$$d_{BT} = 20(0,4834 \text{ mm} + 0,127 \text{ mm}) = 12,21 \text{ mm}.$$

A esta dimensión le damos un 5% de tolerancia por concepto de uso de cintas y amarres tenemos que:

$$d_{BT} = 12,21 \text{ mm} \times 1,05 = 12,81 \text{ mm}.$$

Tabla 3.4 Lámina de aluminio lisa

En rollo de 91,4 cm de ancho.

Aleaciones 2S-H14 temple medio, duro y suave					
	Calibre B.W.G.			Peso aproximado	
	Nº	mm	pulgadas	Kg x metro lineal	Kg x m ²
02	16	1,651	0,065	4,036	4,470
04	18	1,245	0,049	3,080	3,370
06	19	1,070	0,042	2,376	2,600
08	20	0,889	0,035	2,202	2,410
10	22	0,711	0,028	1,755	1,920
12	24	0,559	0,022	1,380	1,510
14	26	0,454	0,018	1,132	1,239
16	38	0,051	0,002	0,125	0,138

Tabla 3.5 Lámina de aluminio lisa.

En rollo de 60,9 cm de ancho.

	Aleaciones 2S-H14 temple medio, duro y suave				
	Calibre B.W.G.			Peso aproximado	
	Nº	mm	pulgadas	Kg x metro lineal	Kg x m ²
18	16	1,625	0,065	2,722	4,470
20	18	1,245	0,049	2,052	3,370
22	19	1,070	0,042	1,573	2,600
24	20	0,889	0,035	1,468	2,410
26	22	0,711	0,028	1,169	1,920
28	24	0,559	0,022	0,920	1,510
30	26	0,457	0,018	0,755	1,239
32	28	0,357	0,014	0,588	0,965
34	30	0,305	0,012	0,504	0,827
36	32	0,229	0,009	0,378	0,621
38	34	0,178	0,007	0,294	0,483
40	36	0,102	0,004	0,168	0,276
42	38	0,051	0,002	0,084	0,138

La longitud de la vuelta media (L_{vms}) del devanado secundario, se calcula con la siguiente expresión:

$$L_{vms} = 2 (C + 2D) + \pi (2(d_{aisl}) + d_{BT})$$

Donde:

C :Ancho de lámina

D :Espesor del paquete de laminación de arcada

d_{aisl} :Espesor de aislamiento tubo de devanado

d_{BT} :Espesor del devanado de baja tensión

Dando valores a la expresión anterior tenemos que:

$$L_{vms} = 2 (21 \text{ cm} + 7,31 \text{ cm}) + \pi (2(0,317 \text{ cm}) + 1,28 \text{ cm})$$

$$L_{vms} = 56,62 \text{ cm} + 6,013 \text{ cm}$$

$$L_{vms} = 62,63 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido, será:

$$L_{tBT} = N_s \times L_{vms}$$

$$L_{tBT} = 20 \times 62,63 \text{ cm}$$

$$L_{tBT} = 1252,66 \text{ cm} (12,526 \text{ m})$$

A la longitud total del conductor de B.T. habrá que sumarle las distancias de las salidas de las boquillas, un 10% no sería demasiado, entonces:

$$L_{TBT} = L_{tBT} \times 1,10$$

$$L_{TBT} = 12,526 \text{ m} \times 1,10$$

$$L_{TBT} = 13,779 \text{ m}$$

El peso del conductor (P_{AL}) por bobina será de:

$$P_{AL} = V_{AL} \times P_e,$$

Donde:

V_{AL} : Volumen del conductor (21,52 x 0,0483 x 1377,9)

P_e : Peso específico del aluminio (3,7 gr/ cm³)

Dando valores tenemos que:

$$P_{AL} = (1432,21 \text{ cm}^3) \times 3,7 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P_{AL} = 5299,18 \text{ gramos}$$

$$P_{AL} = 5,299 \text{ Kg}$$

3.6 Bobina de alto voltaje (A.V.)

El dimensionamiento de la bobina de alta tensión no es tarea fácil, sin embargo no es complicado cuando se tiene una buena práctica en el diseño y se cuenta con la información suficiente como la información técnica de los fabricantes experimentados, sobre todo en cuanto al manejo de distancias dieléctricas se refiere y según los niveles a operar, en la tabla 3.6, se puede considerar algunos valores que generalmente le llaman “collares o collarines” (ver figura 3.5).

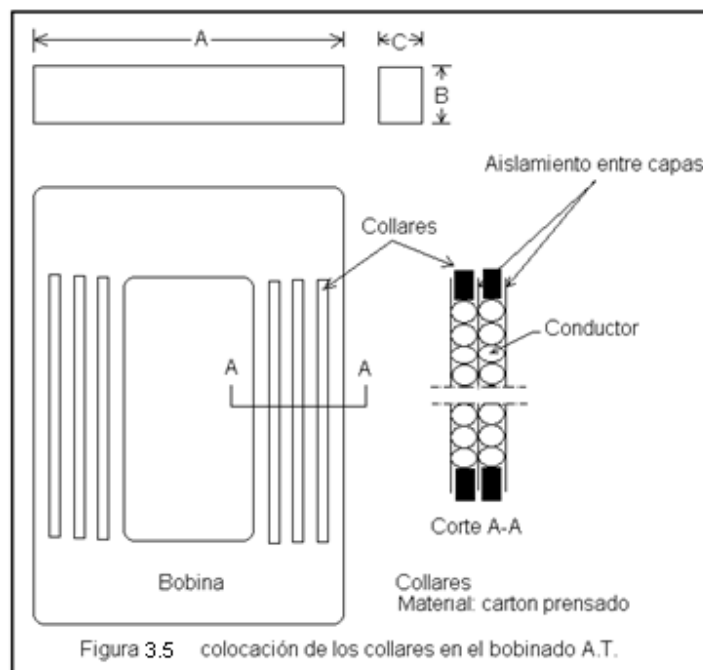


Tabla 3.6 Distancias mínimas para aislamientos mayores.

			Aislamiento entre bobinas							
Pruebas dieléctricas			A.V.-B.V. aislamiento radial							
			A.V. - Núcleo							
Clase de	Impulso (NBI)	Potencial aplicado	Tubo de papel	Ducto de aceite	Envolvente	Total tolerancia	collar	Aislamiento Del yugo	Aislamiento Entre fases	Claro bobina – tanque
KV			Milímetros							
1,2	30	10	1,5	-	-	1,7	6,5	1,5	1,7	15
5	60	19	-	3	1	4,5	6,5	2,0	4,7	20
8,7	75	26	0,4	3	1	4,9	10	2,0	5,0	25
15	95	34	0,9	3	1	5,5	13	2,0	6,0	28
15	110	34	1,4	3	1	6,0	20	3,0	8,0	30
25	150	50	2,5	3	1,8	8,3	32	4,5	10	40
34,5	200	70	4,8	3	1,8	10,8	51	4,5	13	50

El conductor que utilizaremos para devanar la bobina de A.V., del calculo necesitamos el N° 19 AWG, para la clase de aislamiento de 15KV, con el requerimiento que sea un conductor aislado con doble capa de barniz, de información técnica de productos magneto (ver anexo 2), el alambre con barniz doble formanel, procedemos a calcular la altura efectiva del devanado de A.V. (h_p):

$$h_p = B - 2(d_a + r_c),$$

Donde:

d_a : Distancia de aislamiento axial (collares para tención clase 15KV, ver tabla 3.6)

B : Altura de la ventana del núcleo

r_c : Radio de la curvatura del núcleo

Dando valores tenemos lo siguiente:

$$h_p = 23,75 \text{ cm} - 2(1,55 \text{ cm} + 0,137)$$

$$h_p = 23,75 \text{ cm} - 3,374 \text{ cm}$$

$$h_p = 20,376 \text{ cm} \text{ (203,76 mm)}$$

Conocida la altura efectiva del devanado A.V., calculamos el número de espiras por capa:

$$e_{\text{espiras/capa}} = \frac{h_p}{d_{\text{cond}}}$$

Donde:

h_p : Altura efectiva del devanado primario

d_{cond} : Diámetro del conductor

Dando valores se tiene lo siguiente:

$$e_{\text{espiras/capa}} = \frac{203,76 \text{ mm}}{0,980 \text{ mm}}$$

$$e_{\text{espiras/capa}} = 280$$

Para obtener el número de capas requerida se divide el número total de espiras entre las espiras por capa, de la siguiente manera:

$$capas = \frac{2183}{208} = 10,49 \text{ aprox} = 11$$

Por facilidad y desde el punto de vista dieléctrico ajustamos el valor de espiras por capa a 200, entonces:

$$capas = \frac{2183}{200} = 10,9 \text{ aprox} = 11$$

En la última capa se devanan 183 espiras,

3.7. Cálculo de aislamientos menores para la bobina de A.V.

- Aislamiento entre vueltas (V_V) en volts/vuelta

$$V_V = \frac{V}{N} F_{.s.}$$

Donde:

$$F_{.s.} = 1,5$$

N : N° de vueltas por posición de mayor tensión

V : Voltaje

Remplazando valores tenemos que:

$$V_V = \frac{13800}{2183} \times 1,5 = 22,85 \text{ (Para la prueba de voltaje inducido)}$$

Y

$V_V = \frac{95000}{1975} \times 1,5 = 72$ (Para la prueba de impulso, N, para este caso en la posición de menor tensión).

Consultando las características eléctricas del conductor aislado, vemos que los valores calculados están por debajo de los especificados por el fabricante.

➤ Aislamiento entre capas (V_C), en volts/capa

$$V_C = \frac{2V \times V_{pc}}{N} F.s.$$

Donde:

$$F.s. = 1,8$$

$$V_{pc} = 200 \text{ vueltas por capa}$$

Remplazando valores tenemos que:

$$V_C = \frac{2(27720) \times 200}{2183} 1,8 = 9142,6$$

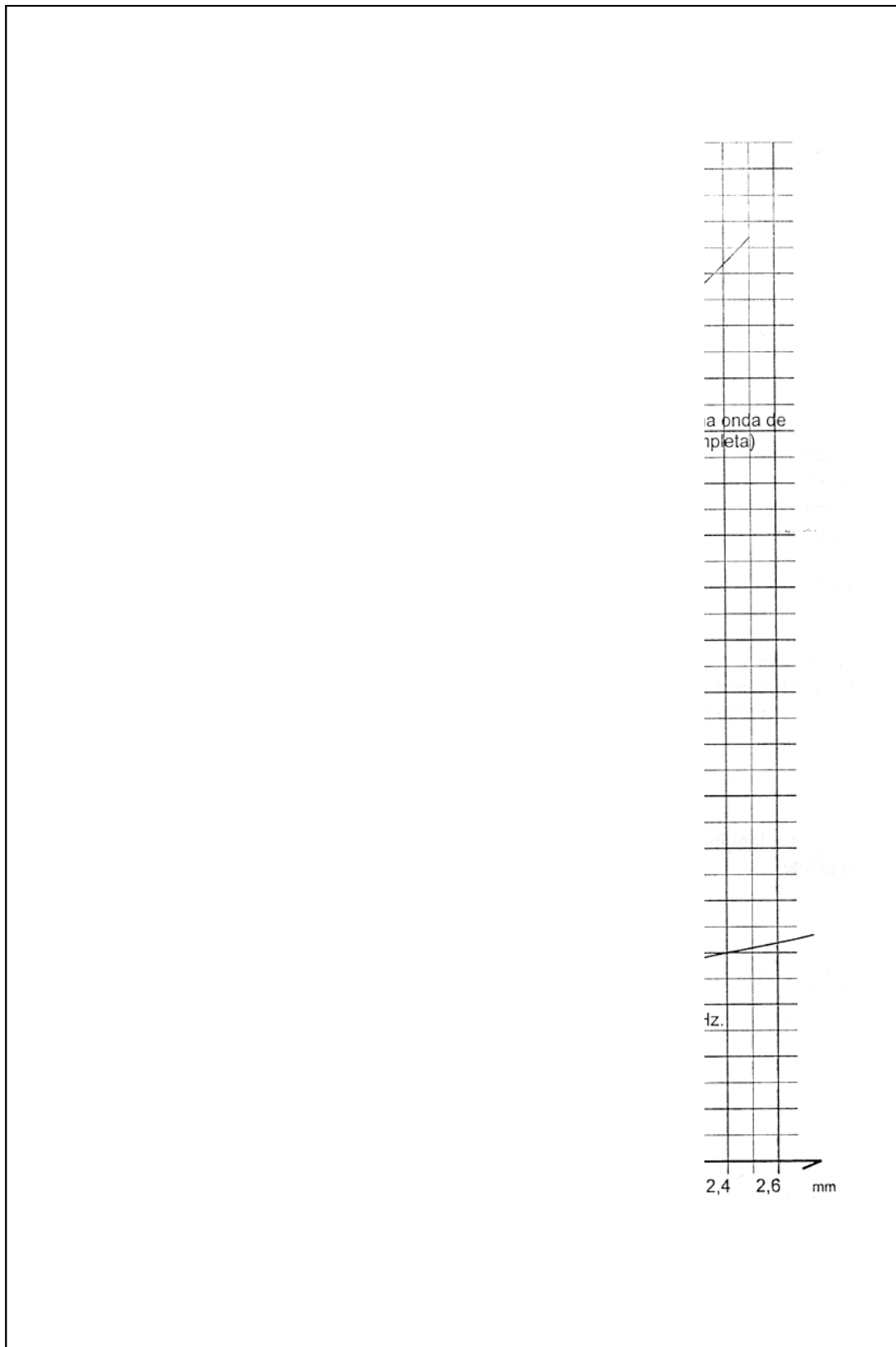
$$V_C = 9,14 \text{ KV}$$

Y

$$V_C = \frac{2(95000) \times 200}{1975} 1,8 = 34632$$

$$V_C = 34,6 \text{ KV}$$

De acuerdo con estos valores al trazar las curvas de comportamiento (figura 3.6), obtenemos un espesor de aislamiento de 0,254 mm



El espesor total de la bobina lo determinamos en función de todos los materiales que intervienen en su construcción.

Material	Espesor radial(mm)	Total (mm)
Tubo de devanado a casquillo		
“Cartón prensado (presspan)”	3,175	3,175
Bobina de baja tensión BT “ conductor mas aislamiento”	12,81	12,81 a
Aislamiento BT – AT		
Papel Kraft tratado	0,25	6,85 b
Forma ductos de cartón prensado	6,35	
Papel Kraft tratado	0,25	
Bobina de alta tensión AT		
Once capas conductor cal. N° 19	10,78	14,084 c
Aislamiento entre capas “papel Kraft tratado de 0,254mm”	2,794	
Sobre aislamientos en la última capa “ papel más cinta de algodón”	0,51	
Total		36,919

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula de la forma siguiente:

$$l_{vmp} = 2(C + 2D) + \pi(2(d_{casq} + d_{BT} + d_{ais\ AT-BT}) + d_{AT})$$

Dando valores tenemos que:

$$l_{vmp} = 2(21cm + 7,31cm) + \pi(2(0,3175cm + 1,281cm) + 1,408cm)$$

$$l_{vmp} = 56,62cm + 18,771cm$$

$$l_{vmp} = 75,391\text{cm}$$

La longitud total del conductor requerido será:

$$l_{LAT} = N_{pl} \times l_{vmp}$$

Siendo $N_{pl} = 2183$ *espiras* (posición 1 del cambiador de derivaciones)

Remplazando valores tenemos:

$$l_{LAT} = 21,83 \times 75,391 \text{ cm}$$

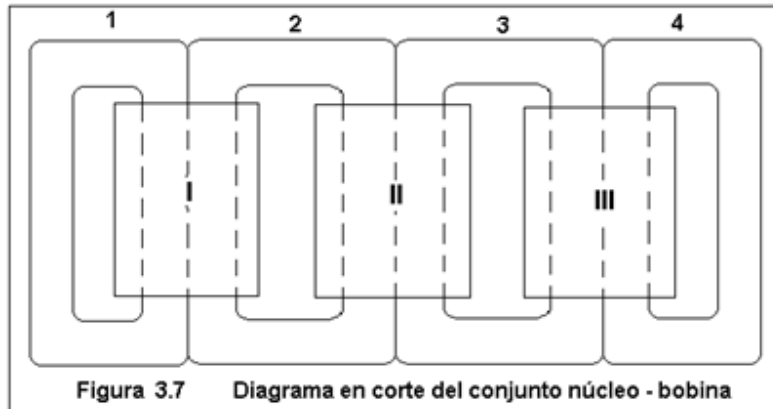
$$l_{LAT} = 164578,68\text{cm} = 1645,786\text{m} = 1,646\text{Km}$$

El peso del conductor por bobina debe ser de:

$$1,646\text{Km} \times 5,81\text{Kg/Km} = 9,563 \text{ Kg} \cong 9,600 \text{ Kg}$$

3.7.1 Determinación del ancho de la ventana del núcleo y el peso por arcada

De la figura 3.7 podemos deducir que las arcadas 2 y 3 son iguales pero son diferentes de las arcadas 1 y 4 que también son iguales, en la gráfica núcleo bobina se puede observar claramente.



De la figura anterior se puede notar que las arcadas 1 y 4 alojan solo un espesor de bobina lo cual llamaremos arcadas chicas, mientras que la arcada 2 y 3 abarcan dos espesores de bobinas cada una con lo cual serán llamadas arcadas grandes.

En la figura 3.8, se representa físicamente las arcadas de donde:

C = ancho de la lámina, y

A_1 = *espesor de la bobina + aislamiento al núcleo*

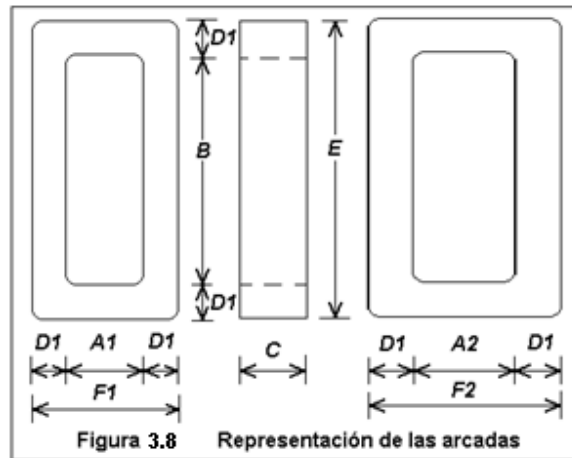
$$A_1 = 36,919 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A_1 = 39,419 \text{ mm} \cong 3,95 \text{ cm}$$

A_2 = *espesor de la bobina + aislamiento entre bobinas "diferentes fases"*

$$A_2 = 2 (36,919 \text{ mm}) + 6 \text{ mm}$$

$$A_2 = 79,838 \text{ mm} \cong 8 \text{ cm}$$



La longitud media de la arcada chica se calcula con la siguiente expresión:

$$l_{m1} = 2 (A_1 + B) + \pi (D)$$

Sabemos que $2D = 7,31$ cm, donde $D = 3,655$ cm

Remplazando se tiene que:

$$l_{m1} = 2 (3,95 + 23,75) + \pi (3,665)$$

$$l_{m1} = 66,88 \text{ cm}$$

Nota: estos valores están tomados de la tabla 3.6.1.

El peso de la arcada se calcula con la fórmula antes vista, entonces:

$$P_1 = V_{Fe1} \times P_e$$

Donde:

P_1 : Peso del acero eléctrico

V_{Fe1} : Peso específico del acero ($7,65 \text{ gr/cm}^3$)

P_e : Volumen del acero eléctrico

Dando valores tenemos:

$$P_1 = (21 \times 3.655 \times 66,88) \times 7,65$$

$$P_1 = 39271 \text{ gramos} \cong 39,300 \text{ Kg}$$

La longitud media de la arcada grande será de:

$$l_{m2} = 2(A_2 + B) + \pi(D)$$

$$l_{m2} = 2(8 + 23,75) + \pi(3,655)$$

$$l_{m2} = 74,982 \text{ cm}$$

El peso de la arcada grande será:

$$P_2 = V_{Fe2} \times P_e$$

$$P_2 = (21 \times 3,655 \times 74,982) \times 7,65$$

$$P_2 = 44027,61 \text{ gramos} \cong 44 \text{ Kg}$$

El peso total del núcleo trifásico será la suma de todas las arcadas entonces:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$\text{Donde: } P_1 = P_4 \quad \text{y } P_2 = P_3$$

Dando valores tenemos lo siguiente:

$$P_t = 2(39,30) + 2(44)$$

$$P_t = 166,6 \text{ Kg}$$

3.8. Diseño dieléctrico del transformador

El diseño dieléctrico del transformador y de cualquier máquina consiste en determinar las características de dimensionamiento de cada uno de los aislamientos, dentro de la constitución de los aislamientos se tiene:

- Aislamiento bajo bobina o tubo devanado (papel o cartón prensado)
- Aislamiento entre vueltas (barniz o esmalte)

- Aislamiento entre capas (papel kraft o insuldur)
- Aislamiento para collares (papel o cartón prensado)
- Aislamiento entre devanados de B.V. y A.V.
- Aislamiento para envolvente de A.T. (papel kraft, insuldur o crepe)
- Aislamiento entre bobinas y yugo
- Aislamiento entre devanados exteriores y núcleo, tanques o herrajes
- Aislamiento entre bobinas de fases diferentes.

Los aislantes que conforman un transformador se caracterizan por adoptar geometrías diversas y algunas de formas irregulares por lo que el comportamiento dieléctrico de los aislamientos resulta complicado.

3.8.1. Cálculo de aislamientos menores

Se conoce como aislamientos menores a los aislamientos entre vueltas, capas y secciones de un devanado, su determinación depende del tipo de construcción de la bobina fundamentalmente, como referencia útil a continuación se describe una bobina tipo capas.

a) Aislamiento entre capas.

En los transformadores de distribución este aislamiento no constituye mayor complicación ya que el conductor tiene su aislamiento con doble o triple capa de barniz, lo cual se puede verificar tanto a baja frecuencia como al impulso con la siguiente expresión:

$$V_V = \frac{V}{N} F. s.,$$

Donde:

V : Voltaje aplicado

N : Número de vueltas

$F.s.$: Factor de seguridad (puede usarse 1,8 en bajas frecuencias y 1,5 en impulso)

V_v : Esfuerzo dieléctrico entre vueltas (este valor debe ser menor que la ruptura de aislamiento empleado "barniz o papel").

b) Aislamiento entre capas

Este aislamiento puede estimarse con la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{2V \times v_{pc}}{N} F.s.,$$

Donde:

V : Voltaje aplicado

v_{pc} : Vueltas por capa

N : Número de vueltas

$F.s.$: Factor de seguridad (1,8 para frecuencia baja, 1,8 para impulso en bobinas de 15Kv y menores, 2,5 para impulsos de bobinas de 25 y 34,5Kv.)

V_c : Esfuerzo dieléctrico entre capas

Los aislamientos a utilizarse puede determinarse mediante las curvas de la figura 3.6, las tensiones de ruptura del aislamiento elegido deberán exceder los valores calculados para V_c .

c) Aislamiento en la zona de derivaciones

Este aislamiento se debe verificar con el esfuerzo que se produce entre las capas en donde se rompe el conductor para sacar las derivaciones, (generalmente en la bobina de A.T.)

Esto se logra al remplazar v_{pc} = número de vueltas fuera, siendo usual reforzar las capas mencionadas con aislamiento adicional, ya que se tiene un punto de unión el cual debe tener un aislamiento alto.

3.8.2. Sección de aislamientos mayores

Como se ha comentado con anterioridad, si se tiene una estructura aislante irregular, su campo eléctrico no será uniforme, esto causa que su análisis sea complicado con lo cual si se desea conocer la rigidez dieléctrica de alguna estructura aislante es necesario recurrir a la experimentación.

Para una selección práctica de aislamientos mayores nos referimos a la tabla 3.6. De distancias mínimas para aislamientos mayores.

3.9. Pérdidas en el transformador y eficiencia.

En los transformadores existen dos tipos de pérdidas esencialmente las cuales se presenta a continuación.

3.9.1 Pérdidas en el hierro.

Las pérdidas en el hierro básicamente se dan por histéresis y corrientes parásitas, estas pérdidas se las toma o se las conoce con el ensayo del transformador en vacío. (Ver tabla 3.7.)

Tabla 3.7 Pérdidas sin carga de los transformadores de distribución.

Tipo de alimentación	Capacidad KVA	Clase de aislamiento					
		Hasta 15 KV		Hasta 25 KV		Hasta 34,5 KV	
		En vacío	Totales	En vacío	Totales	En vacío	Totales
Monofásicos	5	30	107	38	112	63	118
	10	47	178	57	188	83	199
	15	62	244	75	259	115	275
	20	86	368	100	394	145	419
	37.5	114	513	130	552	185	590
	50	138	633	160	684	210	736
	75	186	834	215	911	270	988
	100	235	1061	265	1163	320	1266
	167	365	1687	415	1857	425	2028
Trifásicos	15	88	314	110	330	135	345
	30	137	534	165	565	210	597
	45	180	755	215	802	265	848
	75	255	1142	305	1220	365	1297
	112,5	350	1597	405	1713	450	1829
	150	450	1976	500	2130	525	2284
	225	750	2844	820	3080	900	3310
	300	910	3644	1000	3951	1100	4260
	500	1330	5561	1475	6073	1540	6586

Con una inducción $B=16000$ gauss y de las curvas específicas del material a usar, acero al silicio de grano orientado M-4, se obtiene:

Pérdidas en el núcleo: 1,32 W/Kg

Pérdidas aparentes en el núcleo: 1,98 VA /Kg

Si se considera un factor de distribución del 10%, entonces se tiene:

Pérdidas en el núcleo (P_{Fe})

$$P_{Fe} = 1,32 \frac{w}{kg} \times \frac{166,3}{3} kg \times 1,1$$

$$P_{Fe} = 80,63 w$$

Voltaje de excitación (VA)

$$VA = 1,98 \frac{VA}{kg} \times \frac{166,3}{3} kg \times 1,1$$

$$VA = 120,95 VA.$$

Corriente de excitación (I_o)

$$I_o = \frac{120,95}{127} = 0,952A$$

O bien

$$\%I_{exe} = \frac{120,95}{10 \times 25} = 0,4838 \text{ (de la } I_s \text{)}$$

3.9.2. Pérdidas en el conductor.

Las pérdidas del conductor o las llamadas también del cobre debido a que su mayoría se construyen de este material, pero se debe tener en cuenta que también el conductor se construye de aluminio., Las pérdidas en el conductor se dan por el llamado **efecto Joule**, las cuales se obtienen del ensayo en cortocircuito.

- Para B.T. la resistencia se obtiene de la siguiente fórmula:

$$R = p_{Al} \frac{L}{A} \text{ ohms}$$

Donde:

$$p_{Al} = 0,0284 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \text{ (permeabilidad del aluminio)}$$

Entonces tenemos que:

$$R = 0,0284 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \times \frac{13,779 \text{ m}}{103,94 \text{ mm}^2}$$

$$R = 0,003764 \Omega$$

De lo cual las pérdidas por el efecto Joule estarían dadas de la siguiente manera:

$$P_{B.T.} = R \times (I_s)^2$$

$$P_{B.T.} = 0,003764 \times (196,85)^2$$

$$P_{B.T.} = 145,889 \text{ watts a } 20^\circ\text{C}$$

El calculo a 85°C, tendremos que:

$$R_c = R\{1 + \alpha(T_2 - T_1)\}$$

Donde:

T_2 : es la temperatura elevada (85°C)

T_1 : es la temperatura ambiente (20°C)

α : es el coeficiente de temperatura del aluminio (0,0038)

Reemplazando valores tenemos que:

$$R_c = 0,003764 \{1 + 0,0038 (85 - 20)\}$$

$$R_c = 0,004693 \Omega$$

Las pérdidas a 85°C, será de:

$$P_{B.T.} = R_c \times (I_s)^2$$

$$P_{B.T.} = 0,004693 \times (196,85)^2$$

$$P_{B.T.} = 181,88 \text{ watts a } 85^\circ\text{C}$$

- Para el conductor de A.V. tenemos:

Su resistencia eléctrica:

$$R = l_{tA.T.} \times \frac{\Omega}{Km} ; \text{ para el calibre 19 AWG es } = 24,4 \frac{\Omega}{Km}$$

$$R = 1,646 Km \times 24,4 \frac{\Omega}{Km}$$

$$R = 43,45 \Omega \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

Las pérdidas serán de:

$$P_{A.T.} = R \times (I_p)^2$$

$$P_{A.T.} = 43,45 \times (1,89)^2$$

$$P_{A.T.} = 155,22 \text{ watts}$$

A 85°C las pérdidas serán de:

$$R_c = R\{1 + \alpha(T_2 - T_1)\}$$

Donde:

α : es el coeficiente de temperatura del cobre (0,00393)

Entonces tenemos que:

$$R_c = 43,45 \{1 + 0,00393 (85 - 20)\}$$

$$R_c = 54,55 \Omega$$

Las pérdidas serán de:

$$P_{A.T.} = R_c \times (I_p)^2$$

$$P_{A.T.} = 54,55 \times (1,89)^2$$

$$P_{A.T.} = 194,85 \text{ watts}$$

- La eficiencia del transformador.

La eficiencia se la calcula de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}}$$

Donde:

P_1 : Potencia absorbida (primario), en VA

P_2 : Potencia cedida (secundario), en VA

P_{Fe} : Pérdidas en el hierro

P_{Cu} : perdidas por efecto Joule.

La eficiencia con factor de potencia unitario ($\cos\phi = 1$)

$$\% \eta = \left\{ \frac{75000 \times 1}{75000 \times 1 + 3(80,63 + 376,73)} \right\} \times 100$$

$$\% \eta = 98,2 \%$$

La eficiencia con factor de potencia 0,8 ($\cos \phi = 0,8$), tenemos lo siguiente:

$$\% \eta = \left\{ \frac{75000 \times 0,8}{75000 \times 0,8 + 3(80,63 + 376,73)} \right\} \times 100$$

$$\% \eta = 97,76 \%$$

3.10. Impedancia del transformador.

A la impedancia del transformador también denominada, impedancia de dispersión o voltaje de dispersión se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\% Z = \sqrt{(\% R)^2 + (\% X)^2}$$

En los transformadores de distribución la componente resistiva de la impedancia puede ocupar una porción importante, por esta razón siempre debe especificarse la temperatura a la cual se ha calculado el porcentaje de impedancia ($\% Z$), por lo general se calcula para $75^\circ C$ ó $85^\circ C$ para transformadores con elevación de temperatura de $75^\circ C$ ó $85^\circ C$ respectivamente.

3.10.1. Resistencia equivalente y % de resistencia.

La resistencia equivalente vista del punto de A.T., si $P_{AT} = F \times R_e$, despejando R_e , tendremos lo siguiente:

$$R_e = \frac{P_{AT}}{I_1^2} = \frac{201,25}{(1,89)^2} = 56,34 \text{ ohms (valor ya calculado)}$$

$$\%R = \frac{P_{AT}}{10 \text{ KVA}} = \frac{194,85}{10 (25)} = 0,7794\%$$

3.10.2. Porcentaje de la reactancia de dispersión.

Esta reactancia se la obtiene en forma empírica mediante la fórmula experimental:

$$\%X = \frac{\left(\frac{KVA}{fase}\right) \left(\frac{f}{60}\right) v_m \gamma}{22,14 \alpha N_{ab} V t^2}$$

Donde:

$\%X$: Reactancia de dispersión

f : Frecuencia en hertz

v_m : Promedio de longitudes de las vueltas medias de AT y BT en milímetros

$$v_m = \frac{(I_{vmp} + I_{vms})}{2} = \frac{(753,91 + 626,3)}{2} = 690,10 \text{ mm}$$

$$\gamma = (a + c/3) + b$$

$\alpha = (a + b + c)/3 + (h + l)/2$ (longitud de la trayectoria del flujo disperso)

A: espesor promedio de la bobina de BV, en mm

B: espesor promedio de la distancia entre AV y BV, en mm

C: espesor promedio de la bobina de AT, en mm

V_t : Voltios por vuelta (E/N)

N_{ab} : Número de espacios alta - baja (=1 para dos devanados concéntricos, 2 para tres devanados concéntricos), y l , h = alturas de las bobinas de BV y AV respectivamente.

Calculando γ y α tenemos:

$$\gamma = \left(12,81 + \frac{14,084}{3}\right) + 6,85 = 24,35,$$

$$\alpha = \frac{12,81 + 6,85 + 14,084}{3} + \frac{205,16 + 215,2}{2}$$

$$\alpha = 11,248 + 210,18$$

$$\alpha = 221,428$$

Conocido los valores de γ y α , se puede calcular %X

$$\%X = \frac{25KVA \left(\frac{60}{60}\right) x 690,10 x 24,35}{22,14 x 221,428 x 1 x (6,35)^2}$$

$$\%X = 2,125 \%$$

Una vez conocidos los valores de %R y %X, podemos calcular el porcentaje de impedancia (%Z)

$$\%Z = \sqrt{(0,779)^2 + (2,125)^2}$$

$$\%Z = \sqrt{0,607 + 4,515}$$

$$\%Z = 2,26 \%$$

3.11. Regulación de voltaje.

La regulación de tención la calculamos a través de la siguiente expresión:

$$\%Reg = \frac{E_2 - V_2}{V_2} x 100$$

En donde:

E_2 : Es la fem inducida en el secundario (ensayo en vacío)

V_2 : Es el voltaje del secundario a plena carga del transformador.

3.12. Resumen.

En el presente resumen recopilaremos la información necesaria para la construcción del transformador, visto en el presente capítulo.

1. Voltios por vuelta	6,35	
Devanados	B.V.	A.V.
2. Número total de vueltas	20	2183
3. Número de bobinas	1	1
4. Número de espiras por capa	1	200
5. Número de capas	22	11
6. Corriente a plena carga (A)	196,85	1,89
7. Densidad de corriente (A / mm^2)	1,86 AL	3 Cu
8. Sección transversal de cada conductor (mm^2)	105,63	0,663
9. Diámetro del conductor desnudo (mm)	215,2 x 0,483	19 AWG
10. Derivaciones en A.V.		+/- 22,5% c/u
11. Pared del tubo del devanado (mm)	3,175	
12. Aislamiento entre capas (mm)	0,127	0,254
13. Construcción radial (mm)	12,81	14,08
14. Altura efectiva de los devanados (mm)	215,2	205,16
15. Collares o collarines (mm)	6,5	13
16. Altura física de los devanados (mm)	228,2	231,16

17. Longitud media por vuelta (cm)	62,63	75,391
18. Longitud total (m)	13,779	1646
19. Peso del conductor (Kg)	5,30	9,60
20. Resistencia a 85°C (ohms)	$0,4693 \times 10^{-2}$	54,55
21. Pérdidas en el conductor	181,88	194,85
El circuito magnético (núcleo)		
22. Dimensiones de la ventana (cm)	3,95 x 23,75 y 8 x 23,75	
23. Dimensiones de la sección transversal (cm)	3,655 x 21	
24. Sección transversal física (cm ²)	153,5	
25. Ancho de la lámina de acero al silicio (cm)	21	
26. Peso del núcleo por arcada (Kg)	39,30 y 44	
27. Pérdidas en el núcleo (W)	80,63	
28. Densidad del flujo (B) en Gauss	16000	
29. Corriente de excitación (A)	0.952	
Eficiencia e impedancia		
30. Eficiencia con el factor de potencia unitario	98,2%	
31. Eficiencia a factor de potencia (0,8)	97,76%	
32. impedancia	2,26%	

Capítulo IV

CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES

4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTES DEL TRANSFORMADOR.

El transformador consta de varias partes las cuales están divididas en dos grupos un principal y un auxiliar como se puede observar a continuación:

Partes principales

- Núcleo magnético
- Bobinados, primario, secundario, etc.

Partes auxiliares

- Tanque, cuba o recipiente
- Boquillas terminales (Buchings)
- Medio refrigerante
- Conmutadores
- Indicadores.

4.2 DESCRIPCIÓN BREVE DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.

NUCLEOS

Existen 2 tipos de núcleos fundamentales de estructura del transformador ellos son el tipo núcleo y el tipo acorazado, los cuales se detallan a continuación.

- **Tipo apilado:** este tipo de apilado se representa en la Figura 4.1, indicando el corte A-1 la sección transversal que se designa con S (cm²). Este núcleo no es macizo, sino que está formado por un paquete de chapas superpuestas, y aisladas eléctricamente entre sí. Para colocarlas y poder ubicar el bobinado terminado alrededor del núcleo, se construyen cortadas, colocando alternadamente una sección U con una sección I. La capa siguiente superior cambia la posición I con respecto a la U.

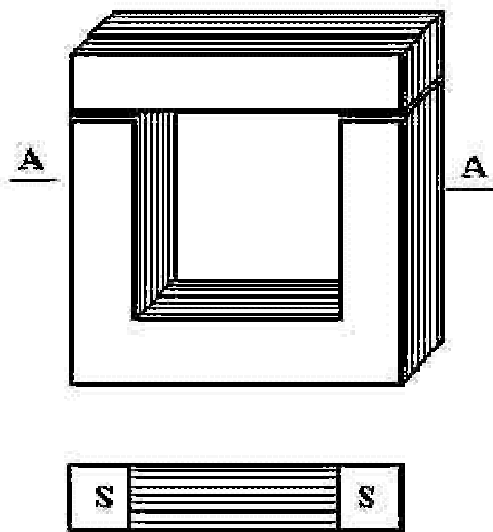


Fig. 4.1 Vista y corte de un núcleo tipo apilado

El aislamiento entre chapas se consigue con barnices especiales, con papel de seda, o simplemente oxidando las chapas con un chorro de vapor.

- **Núcleo tipo acorazado:** este tipo de núcleo es más perfecto, pues se reduce la dispersión, se representa en la Figura 4.2, en vistas. Obsérvese que las líneas de fuerza de la parte central, alrededor de la cual se colocan las bobinas se bifurcan abajo y arriba hacia los 2 costados, de manera que todo el contorno exterior del núcleo puede tener la mitad de la parte central. Esto vale para las 2 ramas laterales como también para las 2 cabezas. Para armar el núcleo acorazado también se lo

construye en trozos, unos en forma de E y otros en forma de I, y se colocan alternados, para evitar que las juntas coincidan.

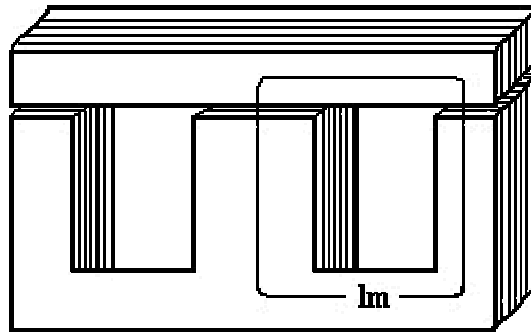


Fig. 4.2

Vista de un núcleo tipo acorazado con indicación de la longitud magnética media.

El hecho que los núcleos sean hechos en dos trozos, hace que aparezcan juntas donde los filos del hierro no coinciden perfectamente, quedando una pequeña luz que llamaremos entrehierro. Obsérvese que en el tipo núcleo hay dos entrehierros en el recorrido de las fuerzas, y que el acorazado también, porque los dos laterales son atravesados por la mitad de líneas cada uno.

DEVANADOS

Hay dos formas típicas de bobinados para transformadores los cilíndricos y planos. Los núcleos, con su forma, son los que determinan la elección de uno u otro tipo, salvo que se requieran propiedades especiales, como ser baja capacidad distribuida, para uso en telecomunicaciones u otros.

- Bobinado cilíndrico: este tipo se usa cuando el núcleo del transformador es del tipo apilado y escalonado.

- Bobinado plano: este tipo se usa cuando el núcleo del transformador es del tipo acorazado.

Los dos bobinados primario y secundario, rara vez se apartan en dos simples grupos de espiras, encimándolas; generalmente se apartan en dos partes o más envueltas uno encima del otro, con el embobinado de baja voltaje en la parte interna. Dicha conformación sirve para los siguientes propósitos.

- Simplifica el problema de aislar el embobinado de alto voltaje del núcleo.
- Causa mucho menos filtración de flujo, como sería el caso si los 2 embobinados estuvieran separados por alguna distancia del núcleo.
- Mejora la refrigeración.

Los materiales aislantes para el bobinado, o para colocar entre capas, son: papel prestan, papel nomex, fibra de vidrio, micanita, cinta impregnada, algodón impregnado, etc., para transformadores con bobinados al aire, y para los sumergidos en baños de aceite, se utilizan los mismos materiales sin impregnarse; debe evitarse el uso del caucho en los transformadores en baño de aceite, pues este lo ataca, y tiene efectos nocivos también sobre la micanita y aun sobre los barnices.

Las piezas separadoras entre bobinados, secciones, o entre estas y el núcleo pueden ser de madera, previamente cocida en aceite, aunque actualmente se prefieren los materiales duros a base de papel o similares (pertinaz, etc.). Si se usa madera, no debe interpretarse como que se dispone de aislamiento, sino solamente de un separador.

En cuanto a los conductores para hacer bobinas, su tipo depende de la sección, pues hasta 6mm^2 pueden usarse alambre y más arriba de ese límite se usan cables de muchos hilos, o bien cintas planas, para facilitar el bobinaje. El aislamiento para los conductores puede ser algodón, que luego se impregnará si no se emplea baño de aceite. Para transformadores de soldadura que trabajan con voltajes muy bajos y corrientes muy fuertes, se suelen colocar las cintas de cobre sin aislamiento, pues la

resistencia de contacto entre ellas es suficiente para evitar drenajes de corriente. Esta situación mejora aún debido a la oxidación superficial del cobre.

TANQUE O CUBA.

Los tanques en su mayoría se construyen con el propósito de dar protección a la parte activa y con la finalidad también de refrigerar los bobinados ya que constan de sistemas de radiadores, Cada empresa constructora tiene su diseño de tanque el cual de características de funcionamiento son las mismas para cualquier empresa.

La construcción del tanque en su totalidad se la hace de láminas de acero de 2 hasta 5mm de espesor dependiendo de la potencia del transformador, al igual que los radiadores los cuales se construyen con láminas de 1 o 2mm de espesor según el tamaño y a la refrigeración que vaya a brindar al aceite.

4.3 DISEÑO DEL PROCESO PARA LA PLANTA DE R.V.R. TRANSFORMADORES.

4.3.1 INTRODUCCIÓN.

El diseño del proceso se lo va a manejar por medio de pasos generalizado para tener una breve idea de lo que estamos produciendo en la fabrica, luego de tener esta idea vamos a desglosar el proceso general en procesos específicos con los cuales nos podremos dar cuenta de la elaboración en si de un trasformador, que elementos entra en su construcción, como es el diseño y los pasos a seguir, así también de que pruebas se realizan para tener un producto probado y de calidad.

A continuación detalle del proceso general:

Proceso general

- Sección: Corte y armado del núcleo.
- Sección: Metalmecánica
 - Fabricación de la cuba o tanque.
 - Fabricación de los radiadores.
- Sección Bobinados
 - Confección de las bobinas.
 - Ensamble y conexiones de la parte activa.
- Sección Acabados
 - Inmersión de la parte activa en la cuba
 - Pruebas
 - Eléctricas
 - De presión
 - Corrección de fallas parte estética del Transformador.
 - Elaboración de la placa.
 - Demarcación y etiquetado del trafo.
 - Control de calidad.

El proceso general se lo elaboró y se implementó en la planta de acuerdo con los pasos que se siguen para la fabricación de un transformador, dividiendo el trabajo por secciones ya que se realiza a la vez las diferentes partes que conforman un transformador, disminuyendo el tiempo en la fabricación de un transformador, además que se lo hace de forma sistemática y de orden cronológico.

Se toma en cuenta el proceso de los transformadores en aceite, debido a que son los transformadores que tienen una mayor secuencia en el proceso, los transformadores secos, auto transformadores y rectificadores, se los hace de la misma manera y tomando en cuenta los mismos procesos específicos, la diferencia es que requieren menos tiempo de fabricación y van en caja cuando el cliente así lo requiere, y por lo general no son de mayor tamaño.

En los capítulos siguientes veremos como se construye cada una de las partes de un transformador de distribución sumergido en aceite, cuales son los pasos a seguir, con que materiales, y pruebas, protocolos, de acuerdo a la planta de R.V.R. transformadores.

Los planos del diseño de cada uno de los componentes de los transformadores están indicados en el anexo 3.

CAPITULO V

CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES EN R.V.R..

5.1 CORTE Y ARMADO DEL NUCLEO.

En esta sección ingresan flejes de acero al silicio a ser cortado de acuerdo con el diseño para en lo posterior armar el núcleo, a continuación los pasos que se siguen para el corte y armado del núcleo:

Proceso de corte y armado del núcleo.

1. Cálculo del núcleo
2. Plano del núcleo.
3. Modificación de matrices en las máquinas de corte.
4. Corte de una lamina completa que conforme el núcleo.
5. Armado de una lámina completa.
6. Verificación de medidas parciales de acuerdo al plano.
7. Corte de láminas totales para conformar el núcleo.
8. Ensamble del núcleo.
9. Verificación de las medidas totales del núcleo de acuerdo al plano.
10. Prensado del núcleo.
11. Pruebas al núcleo.
12. Núcleo terminado.

Todo empieza con los cálculos previos para el núcleo, luego a la sección se le entrega un plano en el cual se detalla todos los datos que se requieren para el corte de las láminas para su posterior armado.

Con el plano procedemos a rectificar las medidas de las matrices las cuales se encuentran en la mesa de la cizalla donde se coloca la lámina a ser cortada, las matrices nos darán las distancias o medidas exactas para cortar el núcleo.

Seguido a esto cortamos una pieza de cada una con la finalidad de comprobar que estamos dentro de las medidas adecuadas del plano, esto es muy importante observar ya que si nos equivocamos a más del tiempo desperdiciado que lleva cortar y armar se debe considerar el costo del material.

Ya comprobado y si estamos correctos en la medida procedemos a cortar varias láminas y las necesarias para poder ensamblar el núcleo completo, otro de los aspectos sumamente importante a tomar en cuenta es el sentido de corte que debe ir según el rumbo que tomará el flujo magnético, lo que se trata es de en lo posible no poner oposición al flujo y que este sea lo mas uniforme para no tener muchas pérdidas por dispersión o contra flujos.

Ya con las piezas cortadas procedemos armar el núcleo, esto se lo hace sobre una mesa completamente plana y con topes que nos ayudarán armar el núcleo lo mas cerrado entre laminas y con un apilado uniforme, es necesario que al poner lamina con lamina quede sin aberturas, y de acuerdo al modelo traslapar las mismas de tal forma que sea fácil sacar los cierres montar las bobinas y volverlos a cerrar.

Cuando se tiene el núcleo armado se comprueba nuevamente si esta en las medidas adecuadas y de acuerdo al plano.

Una vez terminado el armado del núcleo se procede a prensarlo para evitar que se desarme y para que sea fácil su transportación.

El núcleo ya terminado se lleva al campo de pruebas para realizarle la respectiva prueba la cual nos da las pérdidas del hierro, esta prueba se la hace por muestreo.

En la fotografía 5.1, se puede apreciar un núcleo completamente armado y listo para ser llevado al campo de pruebas.



Fotografía 5.1

5.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS BOBINAS.

.En esta sección se construye la parte activa del transformador, el proceso de construcción de las bobinas es el mismo tanto para transformadores como para auto transformadores, sean estos secos o en aceite, a continuación el detalle del proceso.

Proceso de confección de las bobinas.

1. Cálculo de la bobina.
2. Diagrama de la bobina.
3. Construcción de la formaleta.
4. Montaje de la formaleta en la máquina bobinadora.
5. Adquisición en bodega de los materiales (aislamiento y cobre).
6. Montaje de aislamientos BT (baja tensión) contra el hierro.
7. Confección del arrollamiento de BT.
8. Montaje de aislamiento AT (alta tensión) contra BT.
9. Confección del arrollamiento de AT.
10. Montaje de aislamientos de protección a la AT.
11. Retirar la formaleta con el bobinado de la máquina.
12. Retirar la formaleta de la bobina.
13. Bobina lista para montar en el núcleo.

Este proceso al igual que el proceso anterior (proceso 5.1), comienza con los cálculos teniendo en cuenta los aspectos básicos como son potencia, voltaje del primario, voltaje del secundario, frecuencia, etc.

Ya revisado todos estos aspectos se realiza los cálculos, los cuales deben estar en concordancia con la necesidad del usuario o cliente, se tendrá en cuenta que al hacer los diseños de núcleos, bobinas y tanques, estos deben estar en concordancia entre si y de acuerdo con las normas con las cuales se esta diseñando.

Los datos de los cálculos se los transfiere a plano el cual tiene detallado las medidas de la bobina, el plano es entregado al bobinador, persona la cual se encarga de fabricar la formaleta y la bobina de la siguiente manera:

a).- Con los cálculos listos se procede a diseñar el tipo de bobina y la formaleta que se va usar, la formaleta no es nada mas que una base de madera compuesta por dos piezas las cuales tienen forma especial que permiten facilidad de sacar la bobina cuando esta esté elaborada, además que la formaleta esta asumiendo el papel de ser el tamaño del núcleo (pierna del núcleo).

b).- La formaleta se la construye en el caso de no existir alguna elaborada que coincida con las medidas requeridas, una vez que se tiene la formaleta se procede a colocarla en la máquina bobinadora, asegurándose de que a mas de estar centrada este muy bien fijada ya que a medida que se va elaborando la bobina esta adquiere volumen y peso que son de gran consideración.

Revisado todos estos aspectos empezamos por recubrir con lamina o láminas de cartón, (dependiendo la potencia del transformador), esto con la finalidad de acuerpar el transformador y proteger de los esfuerzos mecánicos al momento de montar la bobina en el núcleo, el bobinador se ayuda de una estructura base donde coloca los carretes con los conductores para pasarlos por un templador el cual es de mucha ayuda ya que a más de ser un apoyo para los conductores permite mayor templado de los mismos cuando estos están siendo enrollados. (Ver fotografía 5.2).



Fotografía 5.2 (Estructura templadora)

El bobinado tiene su principio el mismo que sale a un extremo de la bobina, como se puede apreciar en la fotografía 5.3, se empieza a envolver el conductor aislado ya sea con esmalte (de fábrica conductor esmaltado) o con papel prespahn esto debido a que los conductores van ligados entre espiras y pueden entrar en cortocircuito, de acuerdo con el diseño algunas bobinas tienen varias derivaciones, estas de igual forma salen a un mismo lado de la bobina.

Como una bobina esta constituida de varias espiras y varias capas el paso de una capa a otra no se bobina hasta los extremos ya que se debe poner un aislamiento con suficiente distancia que soporte las tensiones mecánicas, entonces nos ayudamos de un aislamiento (filamento llamado collarín) que esta conformado de

cartón en varias capas con un lado mas ancho que el otro con la finalidad de montar el conductor de una capa a otra y así ir conformando las diferentes capas de cobre, ver fotografía 5.4.

Entre capas de cobre arrollado en la bobina se aísla con papel prespahn impregnado con adhesivos epoxicos que al tomar temperatura en el horno de secado se adhieren al cobre, este aislamiento tiene el suficiente espesor para soportar el voltaje de ruptura entre capas según las normas.

Una vez elaborada la bobina se procede a retirar de la máquina bobinadora, para luego extraer la formaleta y en lo posterior montar la bobina en el núcleo.



Fotografía 5.3



Fotografía 5.4

5.3 ELABORACIÓN DEL TANQUE...

En la sección metalmecánica no solo se fabrica el tanque y los radiadores, también se elabora todo lo que es trabajos en metal como por ejemplo prensas, soportes, platinas, cajas para transformadores secos, etc.

Al igual que la bobina y el núcleo el tanque tiene su diseño de acuerdo al trabajo y potencia ya que de estos depende que tenga más o menos refrigeración, a continuación el detalle del proceso:

1. Diseño del tanque.
2. Plano del tanque.
3. Corte de láminas para la elaboración del tanque.
4. Doble de Láminas.

5. Ensamblado y soldado de laminas a conformar el tanque
6. Perforación de la tapa y de la cuba.
7. Corte, acople y suelda de los radiadores al tanque.
8. Corte y pegado previo del empaque al tanque.
9. Acople de válvulas de presión y sobre presión.
10. Sellado del tanque.
11. Pruebas iniciales al tanque.
12. Corte y soldado de acoples para la colocación de elementos de control, así como para los bushings de alta y baja tensión.
13. Pintura del tanque
14. Tanque terminado.

En este proceso se diseña y calcula las dimensiones del tanque teniendo la idea del tamaño que tiene la parte activa, y de acuerdo a la potencia del transformador se sabe que cantidad de radiadores y de cuantos paneles consta cada radiador.- con todo lo mencionado anteriormente se elabora el plano.

Se compran las láminas del espesor indicado en el plano ya que es la medida apropiada para resistir el esfuerzo mecánico, se manda a cortar y a doblar ya que por su espesor necesita de máquinas adecuadas para el trabajo requerido.

Una vez con las láminas cortadas y dobladas a medida se procede a ensamblar y soldar el cuerpo del tanque con un cordón el que tiene por características una gran resistencia mecánica y uniformidad para evitar fugas o rupturas del tanque, recuerde que el mismo esta sujeto a grandes esfuerzos mecánicos, en las fotografías 5.5 y 5.6, se pueden apreciar las cubas o tanques en proceso de fabricación.



Fotografía 5.5



Fotografía 5.6 (Tanque con perforaciones listas para acoplar los radiadores)

Soldado el tanque se coloca la tapa y se perfora los filos para en lo posterior sellar el tanque mediante pernos; Se elabora un empaque de caucho que irá entre la cuba y la tapa.- El siguiente paso es el cortado acoplado y soldado de los radiadores al tanque, para lo cual voy a numerar y explicar el proceso de construcción de los radiadores.

Proceso de construcción de los radiadores:

1. Medidas y espesor de la lámina
2. Cortar a medida las láminas.
3. Troquelado de las láminas
4. Punteado de laminas (Dos laminas las cuales conforman el panel)
5. Soldado de los filos de cada panel.

6. Prueba de fugas a cada panel.
7. Acople de paneles.
8. Suelda entre paneles (Conformando un radiador).
9. Prueba de fugas en cada radiador.
10. Acople y suelda del ducto y soportes a cada radiador.
11. Terminado del radiador.

Los radiadores al igual que el tanque tiene su diseño y sus dimensiones, la diferencia es que están construidas de láminas mucho mas delgadas ya que estas solo tienen por propósito disipar el calor del transformador, entonces de igual forma se compra las planchas y se las manda a cortar a medida, luego a estas se las troquea para que tengan la capacidad de mantener y permitir la circulación del aceite.

Las láminas troqueladas son simétricas por lo tanto se colocan de dos en dos para conformar los paneles, los cuales son fijadas una junto a otra con la suelda de punto que a mas de sujetar las láminas evita que se abran por presión.- Luego de puntear las láminas se procede a soldar los filos de las laminas, por medio de una soldadora de costura la cual funde las láminas.

El panel terminado debe ser probado, la prueba es de presión en la cual se somete a presión el panel y se le sumerge en agua para comprobar posibles fugas, realizada esta prueba se acopla otro panel, se suelda, hasta conformar el radiador, se realiza la misma prueba al bloque, el bloque debe ser asegurado para asegurarlo se pone soportes a los lados, y se le acopla un ducto por el cual ingresa y sale el aceite.

Continuando con el proceso los radiadores se acoplan y sueldan al tanque, listo el tanque con los radiadores se prueba todo el tanque, la prueba es igual de presión en la cual sellamos el tanque y aplicamos presión aproximadamente 10 PSI., se comprueba en todas las partes donde puede haber posibles fugas.

Probado el tanque se retira la tapa, el empaque y perfora la cuba en las partes que van acoplados las salidas de alta y baja tensión del transformador así como elementos que permiten el control del transformador.

El tanque totalmente elaborado y con todos los orificios y acoples se procede a desoxidarlo, desengrasarlo y fosfatizarlo para liberar las impurezas al tanque para pintar al horno con pinturas especiales ya que la mayoría de equipos trabajan a la intemperie con situaciones climáticas adversas.

5.4 MONTAJE DE LAS BOBINAS.

En esta parte del proceso se tiene elaborado el núcleo, la bobina y el tanque, entonces se procede a montar el bobinado en el núcleo, como se detalla a continuación.

1. Tener los dos elementos completamente elaborados.(bobinas y núcleo)
2. Retirar las prensas superiores del núcleo.
3. Retirar los cierres del núcleo
4. Montar las bobinas en el núcleo.
5. Colocar los cierres al núcleo.
6. Colocar las prensas.
7. Prueba de relación

Para montar las bobinas en el núcleo se retira las prensas y los cierres del núcleo, para permitir el ingreso de la bobina, a continuación con la ayuda de un tecele vamos a introducir la bobina en las piernas del núcleo, una vez montadas las bobinas se colocan los cierres del núcleo (tal como se aprecia en la fotografía 5.7) y las prensas para poder sujetar y transportar el núcleo con las bobinas.

En esta parte del proceso se realiza la prueba de la relación con ayuda del TTR, esta prueba nos permite conocer si las bobinas están con el número de espiras adecuado, para poder pasar a la siguiente etapa del proceso.



Fotografía 5.7

5.5 CONEXIONADO.

En este proceso se realiza todas las conexiones que permiten el funcionamiento del transformador, aquí las bobinas y el núcleo se denominan como la parte activa del transformador.- De acuerdo al propósito del transformador y el requerimiento del cliente se realiza los siguientes pasos:

1. Grupo de conexión

2. Identificación de las puntas salientes de cada bobina.
3. Conectar la baja tensión.
4. Conectar la alta tensión.
5. Conectar el neutro.
6. Aislamiento de conexiones
7. Pruebas a la parte activa.
8. Secado de la parte activa.

Antes de iniciar con cualquier unión de los conductores se debe conocer el grupo de conexión que debe tener el transformador el cual nos indica el cliente, entonces se da las debidas indicaciones (al encargado de esta área) a que grupo de conexión pertenecerá el nuevo transformador, entonces esta persona identifica todas las puntas salientes de cada bobina y procede a etiquetarlas.

Se identifica bobinado de baja tensión, alta tensión, neutro, tierra, y sacamos las puntas de estos de acuerdo a las medidas del tanque donde en lo posterior irán fijados a los respectivos elementos de acople (bushings).

Se conecta en su mayoría la baja tensión ya que se tiene una entrada y una salida, los principios por medio de terminales salen hacia los bushings de baja tensión y los finales dependiendo el tipo de conexión irán en delta o estrella.

En la alta tensión el bobinado por lo general tiene derivaciones y esta construido con dos bobinas del mismo tamaño de igual forma los principios irán a los bushings de alta y las derivaciones van al conmutador.- un conmutador es aquel elemento que permite variar posiciones, llegan todos los extremos para adquirir las diferentes posiciones de voltajes del transformador en la alta tensión.

Terminado las conexiones tenemos que aislar todos los conductores de tal forma que se pueda evitar el contacto de los mismos, el aislamiento se lo hace con papel crepe pegándolo con reometol y luego forrándole con tubo de papel, se debe sujetar todos

los conductores para evitar que entren en vibración y puedan cortocircuitarse, tal como se muestra en la fotografía 5.8.

Aislado el transformador se le toma la relación con el TTR, el cual nos permite verificar si existe alguna falla o si esta correcto el conexionado, verificado y sin inconvenientes la parte activa entra al horno para el secado ya que no debe contener humedad por que es perjudicial para el funcionamiento normal del equipo, en el horno va a evaporar toda la humedad, a medida que esta secándose se le realizan pruebas de humedad por medio del Megger, el cual nos demuestra que la parte activa está seca y se puede introducir al tanque para su posterior sellado.



Fotografía 5.8

5.6 MONTAJE DE LA PARTE ACTIVA EN EL TANQUE.

Una vez que la parte activa esta libre de humedad, bien aislado comprobado la relación, etc., se procede a meter la parte activa al tanque como se indica a continuación:

1. Limpieza del tanque.
2. Introducir la parte activa en el tanque.
3. Sujeción de la parte activa en el tanque.
4. Acoplar los bushings tanto de alta, baja, neutro.
5. Acople de los conductores en los bushings
6. Acople de los conmutadores.
7. Acople de elementos de control.
8. Llenado de aceite aislante hasta el nivel
9. Sellado del tanque.
10. Aplicación de presión negativa (vacío)
11. Pruebas de presión en el transformador.
12. Pruebas eléctricas del transformador

El tanque se encuentra pintado, pero hay que hacer una limpieza minuciosa en el interior para lo cual se utiliza aceite regenerado el cual se le hace circular por las deferentes cavidades de los radiadores con el fin de retirar limallas, basuras, etc., se saca todo el aceite contaminado se seca todo el aceite, dejando completamente seco y limpio el tanque.

Preparado y terminado el tanque, con la ayuda del diferencial o teclé introducimos la parte activa en el tanque y la fijamos tanto horizontalmente, verticalmente y axialmente, ajustamos de tal forma que evitamos el posible movimiento tanto en funcionamiento como en el transporte.- La sujeción se la hace por medio de platinas

que están acopladas en el tanque así también como en las prensas para poder sujetar la parte activa al tanque por medio de pernos.

Colocamos los bushings tanto de alta como baja tensión y con métodos de operación extrema, se procede a realizar el ajustaje de los terminales del transformador, colocamos los diferentes elementos que nos permiten el control del transformador, tomando en cuenta que todos estos elementos deben tener su respectivo empaque para evitar fugas de aceite, ya colocados todos los elementos externos del transformadores se procede a llenar el tanque con aceite dieléctrico hasta el nivel indicado por el medidor (ver fotografía 5.9) y sellamos el tanque.

Sellado el tanque se extrae todo el aire que pueda haber dentro de la cavidad interna del transformador con vacío o presión negativa.

Luego pasa al campo de pruebas donde se le realizará todas las pruebas eléctricas, y todas estas pruebas constan en una hoja de protocolo la cual se entrega al cliente (formato de protocolo ver anexo 4).

Luego se rellena esta cavidad con nitrógeno y se presuriza a más de un P.S.I.



Fotografía 5.9

5.6.1 PRUEBAS REALIZADAS A LOS TRANSFORMADORES.

- Relación de transformación
- Resistencia de aislamiento

- Tensión aplicada
- Tensión inducida
- Pérdidas en vacío
- Pérdidas de corto – circuito
- Resistencia de bobinas
- Rigidez dieléctrica del aceite

Relación de transformación.

Esta prueba se la realiza con el TTR el cual es un comparador ya que no es nada mas que la comparación entre dos transformadores ya que el TTR es un transformador de referencia que tiene un generador, y esta comparación se ve reflejada en un amperímetro, voltímetro y un Null Det., que es el dispositivo que permite sincronizar un galvanómetro cuando el flujo y contra flujo magnético están balanceados.

El TTR tiene cuatro terminales, dos para colocarlos en la alta tensión y los otros dos para baja tensión consta de una manivela la cual hace girar un imán que es el que realiza la generación de energía que alimenta al sistema, el resultado de la comprobación es una cantidad a dimensional que nos permite saber si estamos con el número de espiras adecuado y cuando se le compara entre bobinas si estas tienen la misma relación.

Esta prueba es una de las más necesarias e importantes debido a que nos permite conocer si está bien conectado el transformador, tiene algún cortocircuito o si tiene el número de espiras adecuado.

Resistencia de aislamiento.

La resistencia de aislamiento es una prueba que nos permite conocer el nivel de aislamiento que tiene el transformador entre alta y baja tensión, entre baja tensión y tierra y entre alta tensión y tierra, esta prueba se la realiza con el Megger, con un tiempo de uno a cinco minutos a voltaje nominal, en los cuales la lectura es mucho más correcta, esta medida debe pasar de 1.4 giga ohmios en los cuales nos indica un aislamiento adecuado.

Otra de las funciones del Megger es la de medir el nivel de humedad que tiene la parte activa o inclusive el aceite en cuyo caso debe sobrepasar los 2 giga ohmios, y dependiendo del voltaje puede llegar la alta tensión alcanzar valores de hasta los 10 giga ohmios.

Tensión aplicada.

A esta prueba también se la llama destructiva ya que se la realiza con los bobinados interconectados como para servicio (prueba por muestreo), esta prueba se realiza con voltaje monofásico y alterno con una onda senoidal no menor al 80 % de la frecuencia nominal, El valor de voltaje que se mide es dividido para raíz de dos para conformar los datos del protocolo.

Esta prueba se la comienza a realizar con un voltaje que no sobrepase a la tercera parte del voltaje de prueba, hasta alcanzar aproximadamente el doble del valor del nivel del voltaje para el cual fue diseñado el transformador y de acuerdo con las normas ANSI e INEN, este voltaje aproximadamente debe durar no mas de 60 seg. Y al terminar la prueba se debe bajar rápidamente hasta la tercera parte del voltaje de prueba antes de abrir el interruptor.- en esta prueba el núcleo, estructura y el tanque deben estar conectados a tierra.

Tensión Inducida.

Considerada también prueba destructiva, se aplica voltaje alterno a los terminales de los bobinados lo más cercano a la onda senoidal, doble frecuencia y doble voltaje nominal, durante 60 segundos.

Es muy similar a la prueba anterior se empieza con un voltaje no mayor a la tercera parte del voltaje de prueba y hacia arriba se irá incrementado hasta el valor exacto el cual se refleja en el instrumento de medida, luego se bajará rápidamente hasta un tercio del voltaje de prueba, antes de abrir el interruptor.- La duración de esta prueba será de 60 segundos para cualquier frecuencia hacia arriba incluyendo si es el doble de la nominal.

Pérdidas en vacío.

Esta prueba nos permite conocer las pérdidas cuando el transformador esta sin carga, esta prueba se la hace con el voltaje y frecuencia nominal, la forma de onda del voltaje nominal será aproximadamente senoidal.

El voltaje es aplicado a uno de los bobinados mientras que el otro es dejado en circuito abierto.

Las pérdidas se miden a través del analizador industrial, estas pérdidas son las del hierro, y se dan en watios.

Pérdidas de corto – circuito.

La prueba de corto circuito se la realiza colocando el lado de bajo voltaje en cortocircuito, alimento con voltaje al otro bobinado hasta llegar a la corriente nominal de este (que previamente es calculada), realizado este proceso se procede a tomar la lectura de las pérdidas a la corriente nominal y en watios, se toma el valor de voltaje de cortocircuito para calcular la impedancia del transformador, mediante la fórmula del capítulo 3.10 (pag.57).

Esta prueba nos da las pérdidas en el cobre, y lo que se hace con el corto circuito es llevarle a un estado de carga máxima.

Resistencia de bobinas.

La resistencia de las bobinas se la toma de manera muy simple con la ayuda de un ohmetro de alta precisión, se mide la resistencia de cada bobinado, estos valores son en el orden de los ohmios para las bobinas de AT y en mili-ohmios para las bobinas de BT.

En esta prueba se realiza también inyectando una intensidad de corriente, la cual nos ayuda a obtener la temperatura adecuada, la prueba se denomina de elevación de temperatura.

Rigidez dieléctrica del aceite.

La prueba consiste en tomar una muestra del aceite, se lo debe hacer en un recipiente limpio y libre de humedad, esta muestra de aceite se vierte en un vaso el que consta de dos electrodos los cuales son de posición ajustable.- Los electrodos están conectados a un regulador de voltaje por medio del cual se incrementa la tensión aplicada hasta que salta un arco, en ese instante se apunta dicho valor, se repite esta operación cinco veces después de 2 o 3 minutos.

Diagramas de las pruebas realizadas a los transformadores ver anexo 5.

5.7 TERMINADO DEL TRANSFORMADOR.

Para finalizar el proceso se realizan los siguientes pasos:

1. Datos de placa.
2. Etiquetado del transformador.
3. Control de calidad.
4. Extras.

Una vez que el transformador está probado tanto mecánicamente como eléctricamente y este ha pasado las respectivas pruebas, se procede a llenar los datos identificativos y de conexión, los cuales van detallados en una placa que se coloca en el transformador.

Los datos de placa son muy importantes ya que nos indica las características esenciales del transformador entre ellas: Potencia, voltaje del primario, voltaje del secundario, corrientes nominales, impedancia, diagrama de conexiones, etc.

Una vez elaborada la placa esta se fija en una parte visible del transformador, ver fotografías 5.10 y 5.11.

El transformador es llevado al laboratorio para realizar las diferentes pruebas de control de calidad.- Al determinar que el transformador construido se encuentra dentro de las normas se procede a dar el terminado final, colocando los estiques con leyendas de tamaños visibles a la distancia, indicando señales de advertencia así como la potencia, el fabricante, si el aceite que contiene está libre o no de PCB (químicos cancerígenos) y demarcación de las salidas.

Realizado el control de calidad se aprueba, plastifica y embala de tal forma que al transportar no se deteriore.

Con todo el proceso antes descrito los equipos salen totalmente probados a las diferentes partes donde serán utilizados, para brindar un servicio óptimo y de calidad con la garantía de **R.V.R. Transformadores**.



Fotografía 5.10



Fotografía 5.11

CONCLUSIONES

- Los transformadores en la mayoría de libros se los encuentra como un dispositivo pero por ser un equipo de consideración se le da tratamiento como una máquina eléctrica.
- Los transformadores por constar de muchas partes están tienen que estar montadas en orden para evitar cualquier tipo de equivocación.
- Los transformadores deben tener un ciclo de mantenimiento ya que de no realizar los mantenimientos respectivos estos equipos eléctricos pueden llegar a ser una fuente potencial de peligro.
- En los transformadores eléctricos el aceite dieléctrico tiene dos funciones la de ser aislante y la de ser refrigerante, entonces este aceite tiene características especiales y también se someten a rigurosas pruebas.
- El dimensionamiento del transformador tiene dos partes que son la parte activa del transformador también llamada eléctrica y la parte mecánica.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de este manual como fuente de consulta cuando se desee conocer aspectos básicos de un transformador.
- Se recomienda que al utilizar las tablas se verifique que la tabla que se está utilizando sea la adecuada para que los cálculos sean los más acertados.
- Se recomienda que al ingresar una nueva persona a laborar en la planta de R.V.R. Transformadores esta tenga una inducción con el manual y que este tenga una idea de las operaciones que tiene que realizar.
- Se recomienda utilizar el manual para fomentar el trabajo organizado y evitar así con esto pérdidas que ocasionan los re trabajos o mucho mas si un problema repercute en el cliente.

GLOSARIO

Aislamiento.- El aislamiento eléctrico se produce cuando se cubre un elemento de una [instalación eléctrica](#) con un material que no es [conductor](#) de la [electricidad](#), es decir, un material que resiste el paso de la [corriente](#) a través del elemento que recubre y lo mantiene en su trayectoria a lo largo del conductor. Dicho material se denomina aislante eléctrico.

Armónicos.- Un armónico es el resultado de una serie de variaciones adecuadamente acomodadas en un rango o frecuencia de emisión, para máquinas eléctricas es muy perjudicial.

Adimensional.- En [física](#), [química](#), [ingeniería](#) y otras [ciencias aplicadas](#) se denomina magnitud adimensional a toda aquella magnitud que carece de una [magnitud física](#) asociada. Así, serían magnitudes adimensionales todas aquellas que no tienen unidades, o cuyas unidades pueden expresarse como relaciones matemáticas puras.

Ampere o amperio (A).-Unidad que mide la intensidad de una corriente eléctrica. Representa la cantidad de electrones que circulan en un conductor en un segundo.

Aisladores.- Son materiales que para el caso de los transformadores son de cerámica o porcelana son acampanados y con estrías con la finalidad de evitar el posible arco eléctrico, también se los denomina como **Bushings**.

AWG American Wire Gauge.

Aislamientos de conductores.- El aislamiento en los conductores en las instalaciones eléctricas sirve para evitar, en términos comunes, que la energía se desvíe por algún lugar no deseado, lo que constituiría una falla, y además, como protección a las personas y propiedades con respecto a la tensión eléctrica que pudiera tener el conductor.

Amperímetro.- Instrumento que mide la intensidad de corriente eléctrica que circula por un circuito.

Bobina.- Un inductor o bobina es un [componente](#) pasivo de un [circuito eléctrico](#) que, debido al fenómeno de la [autoinducción](#), almacena [energía](#) en forma de [campo magnético](#).

Circuito magnético.- Se denomina circuito magnético a un dispositivo en el que las **líneas de fuerza** del campo magnético están canalizadas en un camino cerrado. Se basa en que los materiales **ferro magnéticos** tienen una permeabilidad mucho más alta que el aire o el espacio y por tanto el campo magnético tiende a quedarse dentro del material

Corriente alterna.- Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés, de Alternating Current) a la **corriente eléctrica** en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda **sinusoidal**, puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía

Corriente inducida, Al tener un conductor sumergido en un campo magnético al moverlo dentro del mismo y si se tiene un camino cerrado (circuito), estamos hablando de que se está induciendo corriente en dicho conductor.

Conductores, son materiales, en forma de hilo sólido o cable a través de los cuales se desplaza con facilidad la corriente eléctrica, por tener un coeficiente de resistividad muy pequeño.

Los conductores empleados normalmente son de cobre (los hay también en aluminio) y deben tener muy buena resistencia mecánica, deben ser flexibles y llevar un aislamiento adecuado al uso que se les va a dar.

Corriente.- Es el flujo de electrones a través de un conductor. Su intensidad se mide en Amperios (A).

Circuito.- Trayecto o ruta de una corriente eléctrica formado por conductores, que transporta energía eléctrica entre fuentes (centrales eléctricas) y cargas (consumidores).

Calibres.- Dimensiones transversales normalizadas de los alambres.

CIRCULAR MIL (CM) .- Es una unidad igual al área de un círculo que tiene un milésimo de pulgada de diámetro.

Cortocircuito.- Contacto producido entre dos conductores sin que la corriente pase por la resistencia.

Devanado.- Un inductor está constituido usualmente por una cabeza hueca de una bobina de material **conductor**, típicamente **alambre o hilo de cobre esmaltado**.

Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo de un material ferroso, para incrementar su capacidad de magnetismo entre la Intensidad (inductancia).

Densidad de flujo, es el número de líneas hipotéticas de inducción por unidad de área normal a su dirección en un punto.

Entrehierro, Es el espacio de aire en el núcleo de hierro.

Efecto de contorneo, Es el efecto por el cual las líneas de flujo tratan de abrirse en el entrehierro.

Energía eléctrica.- Es la producida por un generador cuando gira en un campo electromagnético. El generador produce una energía que es igual a la potencia (W) multiplicada por el tiempo de funcionamiento. La energía eléctrica se mide en vatios por hora (Wh); 1.000 Wh=1 kWh. (Un kilovatio).

Efecto Joule.- Si en un **conductor** circula **corriente eléctrica**, parte de la **energía cinética** de los **electrones** se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la **temperatura** del mismo. Este efecto es conocido como **Efecto Joule** en honor a su descubridor el físico británico **James Prescott Joule**

Eficiencia energética es la relación entre la cantidad de **energía** consumida y los **productos** y **servicios** finales obtenidos.

Flujo magnético.- El flujo magnético, representado con la letra griega Φ , es una medida de la cantidad de **magnetismo**, y se calcula a partir del **campo magnético**, la superficie sobre la cual actúa y el ángulo de incidencia formado entre las **líneas de campo** magnético y los diferentes elementos de dicha superficie. La unidad de flujo magnético en el **Sistema Internacional de Unidades** es el **weber** y se designa por *Wb* (motivo por el cual se conocen como *weberímetros* los aparatos empleados para medir el flujo magnético). En el **sistema cegesimal** se utiliza el **maxwell** (1 weber = 10^8 maxwells).

Frecuencia.- Frecuencia es una **medida** para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo. Para calcular la frecuencia de un evento, se contabilizan un número de ocurrencias de este teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido.

Fusibles.- En **electricidad**, se denomina fusible a un dispositivo, constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un **metal** o **aleación** de bajo **punto de fusión** que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por **Efecto Joule**, cuando la **intensidad de corriente** supere, por un **cortocircuito** o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos

Fibra de vidrio.- La **fibra de vidrio** (del inglés *fiberglass*) es un **material** fibroso obtenido al hacer fluir **vidrio** fundido a través de una pieza de agujeros muy finos (**espinerette**) y al solidificarse tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra.

Formaleta.- Armazón de **madera** que sirve de molde a la bobina.

Flujo magnético., es la capacidad de circulación de las líneas magnéticas por una determinada área.

Fuerza magnetomotriz, Es la magnitud física que crea un flujo magnético en un circuito.

Híbrido.- Es la unión o mezcla de dos o más caracteres que juntos forman una nueva situación.

Inducción electromagnética.- La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una **fuerza electromotriz** (f.e.m. o **voltaje**) en un medio o cuerpo expuesto a un **campo magnético** variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una **corriente** inducida

Impedancia.- La impedancia es una magnitud que establece la relación (cociente) entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, la tensión y la propia impedancia se notan con números complejos o funciones del análisis armónico

Inductancia.- En un **Inductor** o bobina, se denomina inductancia, L , a la relación entre el **flujo magnético**, Φ y la **intensidad de corriente eléctrica**, I :

Interruptor.- Dispositivo mecánico de maniobra para abrir o cerrar un circuito eléctrico bajo condiciones específicas sin sufrir daño inmediato. Es un medio de conexión-desconexión.

Ley de Lenz, Cuando existe una variación del flujo la corriente inducida fluye en tal dirección, que su propio flujo magnético se opone a la variación del flujo que produce la corriente inducida.

Micanita.- Con el nombre de MICAS se reúne un conjunto de silicatos de Aluminio y de metales alcalinos a los que se asocian frecuentemente magnesio y Hierro. Son monoclinicos o pseudo hexagonales, con clivaje basal perfecto y láminas de clivaje flexibles y elásticas.

Materiales eléctricos.- Los componentes de una instalación eléctrica, y otros que individualmente constituyan equipo eléctrico.

MEGGER.- Aparato para medir resistencias eléctricas muy elevadas.

TTR.- Aparato de medición el cual nos permite conocer la relación entre espiras.

Manual.- Libro que recoge y resume lo fundamental de una ciencia o asignatura.

Papel prespan.- El prespan en planchas de KREMPEL se elabora en nuestras máquinas de cartón especiales. Una mezcla preparada con fibras de celulosa y agua se deshidrata formando un fieltro de fibra que se enrolla en el rodillo de formato. El trozo de fieltro se corta al alcanzar el espesor deseado. Después se prensa la plancha resultante, se seca y se pasa por la calandria para formar el prespan normalizado.

Papel nomex.- El papel NOMEX es un papel sintético, compuesto de fibras cortas (barras) y pequeñas partículas fibrosas ligantes (fibrinas) de una poliamida aromática (aramídico), polímero resistente a altas temperaturas.

Potencia.- Es la capacidad de producir o demandar energía por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W); 1.000 W = 1 kW.

Rendimiento.- En física y en el campo tecnológico, el rendimiento o la eficiencia de un dispositivo, máquina, ciclo termodinámico, etcétera, expresa el cociente entre:

- La energía obtenida (energía útil) de su funcionamiento y la energía suministrada o consumida por la máquina o el proceso.

$$\rho = \frac{E_{obtenida}}{E_{suministrada}}$$

donde p representa el rendimiento y E la energía.

Reluctancia, Es una magnitud análoga a la resistencia en un circuito eléctrico, es decir es el elemento que se opone al paso del flujo magnético y que depende del material y sus dimensiones.

Resistencia.- Cualidad de un material de oponerse al paso de una corriente eléctrica

Tablero eléctrico.- Cuadro donde se reúnen los instrumentos y elementos eléctricos de una instalación eléctrica.

Tierra.- Conexión conductora intencional o accidental entre un circuito o equipo eléctrico y la tierra o algún conductor que se use en su lugar.

TTR.- Aparato de medición el cual nos permite conocer la relación entre espiras.

Voltímetro.- Instrumento para medir diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.

Voltaje.- El voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (**FEM**) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica

BIBLIOGRFÍA

- **P. ROBERJOT** “Biblioteca de Electricidad Industrial”, Editorial Gustavo Gili, S.A. de C.V. México.
- **PHELPS DODGE DEL ECUADOR** “Catálogo de conductores eléctricos y telefónicos.”
- **SIEMENS** “Transformadores de potencia y distribución” Catálogo de productos.
- **Teoría de Electricidad I y Teoría Máquinas Eléctricas I**
- **MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES**, Irving L. Kosow Ph.D.
- **TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN**, Pedro Avelino peres, segunda edición.
- **MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES**, Bhag S. Gurú / Huseyin R Hiziroglu.
- **Varias fuentes de Internet**

www.franainternacional.com

 [Wikimedia Commons](#) alberga contenido multimedia sobre [Transformadores](#).

<http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas6.htm>

<http://aurover-clculo-de-transformadores.archivospc.com/>

www.monografias.com/transformadores/tipos

<http://www.trafomix.com>

ANEXOS

Anexo 1

Conductores eléctricos alambre magneto

Datos de conductores redondos, desnudos de cobre y de aluminio.

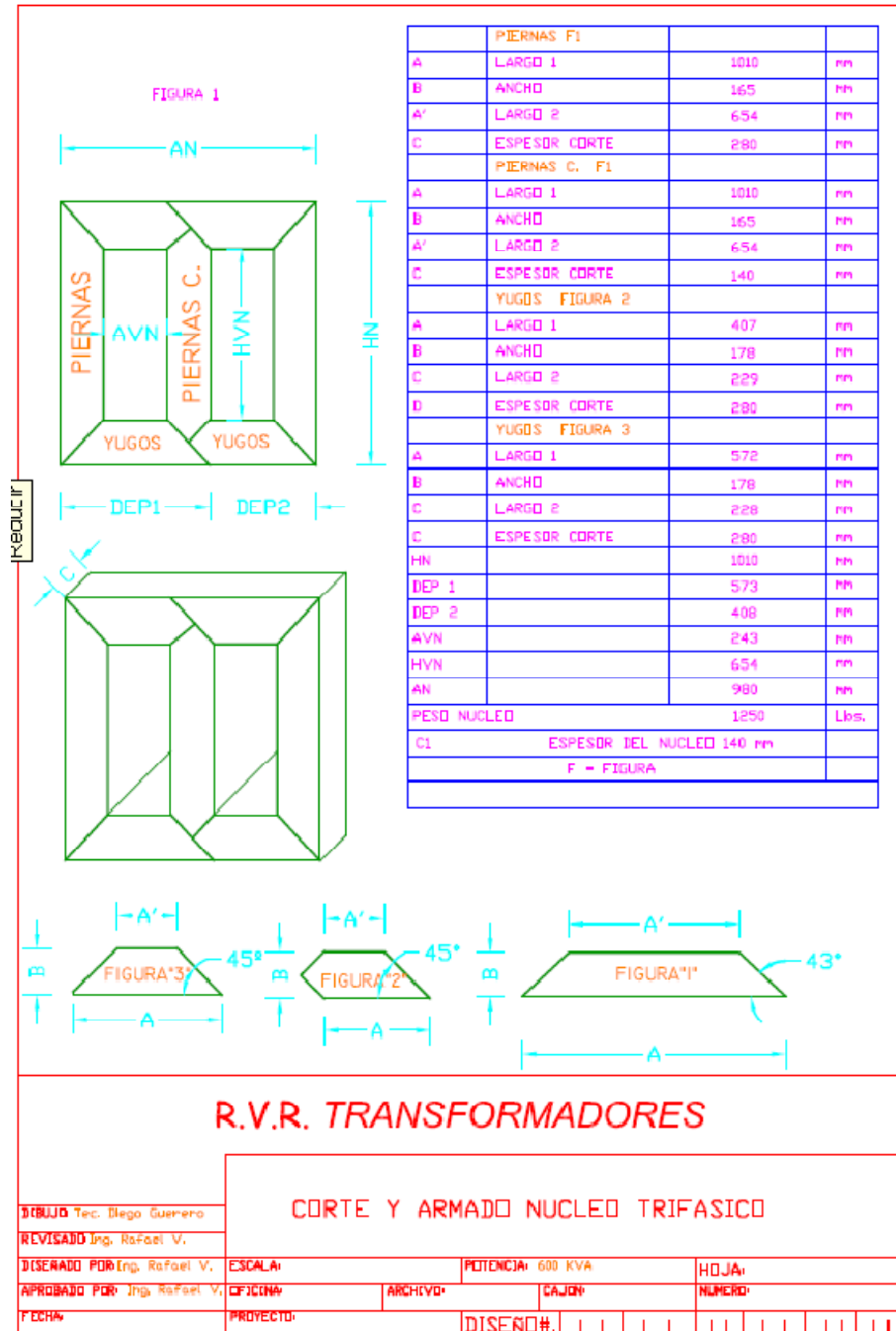
Alambre Calibre AWG	Diámetro en milímetros			Área sección trasversal		Resistencia a 20°C al 100% de conductividad	
	mínimo	nominal	máximo	Milímetros circulares	mm²	COBRE	
						Ohms/Kg	Ohms/Kg
4/0	11,567	11,684	11,801	136,51	107,21	0,1608	0,0001687
3/0	10,3	10,404	10,508	108,24	85,01	0,2028	0,0002684
2/0	9,174	9,266	9,357	85,56	67,43	0,2557	0,0004265
1/0	8,171	8,252	8,334	68,1	53,49	0,3223	0,0006779
1	7,275	7,348	7,422	53,99	42,41	0,4066	0,001078
2	6,477	6,543	6,609	42,81	33,62	0,5128	0,001715
3	5,768	5,827	5,885	33,95	26,67	0,6466	0,002728
4	5,138	5,189	5,215	26,93	21,15	0,4152	0,004336
5	4,575	4,62	4,643	21,34	16,77	1,028	0,0069
6	4,074	4,115	4,135	16,93	13,3	1,297	0,011097
7	3,63	3,665	3,683	13,43	10,55	1,694	0,01742
8	3,231	3,264	3,282	10,65	8,367	2,061	0,0277
9	2,878	2,906	2,921	8,445	6,632	2,6	0,0441
10	2,563	2,588	2,601	6,698	5,261	3,277	0,07006
11	2,281	2,304	2,316	5,308	4,169	4,14	0,112
12	2,032	2,052	2,062	4,211	3,307	5,21	0,177
13	1,811	1,829	1,839	3,345	2,627	6,56	0,281
14	1,613	1,628	1,636	2,65	2,082	8,28	0,447
15	1,435	1,45	1,458	2,103	1,651	10,4	0,711
16	1,278	1,29	1,298	1,664	1,307	13,2	1,13
17	1,138	1,151	1,156	1,325	1,04	16,6	1,79
18	1,013	1,024	1,029	1,049	0,823	21	2,86
19	0,902	0,912	0,917	0,832	0,653	26,4	4,75
20	0,805	0,813	0,818	0,661	0,519	33,2	7,2
21	0,716	0,724	0,726	0,524	0,412	41,9	11,4
22	0,635	0,643	0,645	0,413	0,324	53,2	18,4
23	0,569	0,574	0,577	0,329	0,259	66,6	29
24	0,505	0,511	0,513	0,261	0,205	84,2	46,3
25	0,45	0,455	0,457	0,207	0,277	106	73,6
26	0,399	0,404	0,406	0,163	0,128	135	118
27	0,358	0,361	0,363	0,13	0,102	169	186
28	0,317	0,32	0,323	0,102	0,0804	214	300
29	0,284	0,287	0,29	0,0824	0,0647	266	463
30	0,251	0,254	0,257	0,0645	0,0507	340	755
31	0,224	0,226	0,229	0,0511	0,0401	430	1200
32	0,201	0,203	0,206	0,0412	0,0324	532	1840
33	0,178	0,18	0,183	0,0324	0,0255	675	2970
34	0,157	0,16	0,163	0,0256	0,0201	857	4790
35	0,14	0,142	0,145	0,0202	0,0159	1090	7680
36	0,124	0,127	0,13	0,0161	0,0127	1360	12100
37	0,112	0,114	0,117	0,013	0,0103	1680	18400
38	0,099	0,102	0,104	0,0104	0,00811	2130	29500
39	0,086	0,089	0,091	0,0079	0,00621	2780	50300
40	0,076	0,079	0,081	0,0062	0,00487	3540	81800

Anexo 2

Alambre magneto de cobre: Doble capa de barniz

Calibre AWG	Diámetro en mm				Diámetro en pulg				Peso Kg/Km	Longitud m/Kg	Resistencia a 20°C Ohms/Km
	desnudo Nominal	cubierto			desnudo Nominal	cubierto					
		Mínimo	Nominal	Máximo		Mínimo	Nominal	Máximo			
8	3,264	3,315	3,363	3,409	0,1285	0,1305	0,1324	0,1342	75,024	13,32	2
9	2,906	2,959	3,002	3,043	0,1144	0,1165	0,1182	0,1198	59,475	16,81	2,6
10	2,588	2,642	2,682	2,72	0,1019	0,104	0,1056	0,1071	47,214	21,18	3,2
11	2,305	2,367	2,395	2,431	0,0907	0,0928	0,0943	0,957	37,46	26,68	4,1
12	2,053	2,118	2,139	2,172	0,0808	0,0829	0,0842	0,0855	29,8	33,55	5,2
13	1,828	1,882	1,913	1,943	0,072	0,0741	0,0753	0,0765	23,66	42,26	6,5
14	1,628	1,681	1,709	1,737	0,0641	0,06662	0,0673	0,0684	18,75	53,46	8,2
15	1,45	1,501	1,529	1,557	0,0571	0,0591	0,0602	0,0613	14,89	67,13	10,4
16	1,291	1,344	1,369	1,392	0,0508	0,0529	0,0539	0,0548	11,829	84,53	13,1
17	1,15	1,201	1,22	1,25	0,0453	0,0473	0,0483	0,0492	9,404	106,3	16,5
18	1,024	1,074	1,097	1,118	0,0403	0,0423	0,0432	0,044	7,47	133,8	20,9
19	0,912	0,96	0,983	1,003	0,0359	0,0378	0,0387	0,0395	5,937	168,4	26,4
20	0,812	0,861	0,879	0,897	0,032	0,0339	0,0346	0,0353	4,702	212,6	33,1
21	0,723	0,77	0,787	0,805	0,0285	0,0303	0,031	0,0317	3,734	267,7	41,9
22	0,644	0,686	0,704	0,721	0,0253	0,027	0,0277	0,0284	2,961	337	53,1
23	0,573	0,617	0,632	0,648	0,0226	0,0243	0,0249	0,0285	2,365	422	66,6
24	0,511	0,544	0,569	0,582	0,0201	0,0218	0,0224	0,0229	1,875	533	84
25	0,455	0,495	0,51	0,523	0,0179	0,0195	0,0201	0,0206	1,495	668	106
26	0,405	0,442	0,457	0,47	0,0159	0,0174	0,018	0,0185	1,188	845	134
27	0,361	0,399	0,409	0,419	0,0142	0,0157	0,0161	0,0165	0,943	1059	168
28	0,321	0,356	0,366	0,376	0,0126	0,014	0,0144	0,0148	0,749	1332	214
29	0,286	0,32	0,33	0,304	0,0113	0,0126	0,013	0,0134	0,596	1675	266
30	0,255	0,284	0,295	0,305	0,01	0,0112	0,0116	0,012	0,473	2113	341
31	0,227	0,257	0,267	0,274	0,0089	0,0101	0,0105	0,0108	0,3779	2645	429
32	0,202	0,231	0,241	0,249	0,008	0,0091	0,0095	0,0098	0,3035	3328	531
33	0,18	0,206	0,216	0,224	0,0071	0,0081	0,0085	0,0088	0,2397	4171	675
34	0,16	0,183	0,191	0,198	0,0063	0,0072	0,0075	0,0078	0,1888	5295	856
35	0,143	0,163	0,17	0,178	0,0056	0,0064	0,0067	0,007	0,1502	6653	1085
36	0,127	0,145	0,152	0,16	0,005	0,0057	0,006	0,0063	0,1194	8368	1361
37	0,113	0,132	0,14	0,145	0,0045	0,0052	0,0055	0,0057	0,0953	10483	1679
38	0,101	0,117	0,124	0,13	0,004	0,0046	0,0049	0,0051	0,0757	13202	2126
39	0,09	0,102	0,109	0,114	0,0035	0,004	0,0043	0,0045	0,0599	16675	2778
40	0,08	0,091	0,096	0,102	0,0031	0,0036	0,0038	0,004	0,0474	21065	3543

Planos del diagrama del corte y armado del núcleo.



Planos del diagrama de las bobinas.

BOBINAS BT		
N°	X=	N° CAP
1	80	10
2	160	11
3	240	12
4	320	13
5	400	14
6	480	15
7	360	16
8	640	17
9	680	18

BOBINAS AT		
N°	X=	N° CAP
1	80	10
2	160	11
3	240	12
4	320	13
5	400	14
6	480	15
7	360	16
8	640	17
9	680	18

AISLAMIENTOS	
AIS 0	1.5 mm
AIS F	0.0025 mm
AIS E	0.25 mm
AIS E-1	3 mm
HB	200 mm
EB 1	25 mm
EB 2	10 mm
AIS E.C.B	0.25 mm
E 2-1	5 mm
E B2-B1	5 mm

CONDUCTOR AT: AWG N° 10
 CONDUCTOR BT: FLEJE DE CU 237*1 mm
 AISLAMIENTO ENTRE CAPAS: 0.25
 DUPLICAR AISL. ECI EN CAPAS 1 2 3
 PESO CU AT 450 Lbs. PESO CU BT 360 Lbs.

SALIDAS AT.		
P	0	ESP
S	615	ESP
3	648	ESP
1	680	ESP
F	0	ESP
6	615	ESP
4	648	ESP
E	680	ESP

Formas de las soldas de AT

FORMALETA #1

FORMALETA #2

R.V.R. TRANSFORMADORES

DIAGRAMA DE BOBINAS EN GALLETA TRANSFORMADORES TRIFASICOS					
TITULO					
REVISADO					
DISEÑADO POR	ESCALA	POTENCIA	600 KVA	HOJA	
APROBADO POR	OPCION	ARCHIVO	03-2006	CAJON	REFERENCIA 001
FECHA	20-03-2006	PROYECTO	SCHLUMBERGER	DISEÑO#	

Anexo 4 Protocolo (Hoja de recolección de datos del transformador)

R.V.R. TRANSFORMADORES

CONTAMOS CON REPUESTOS Powell-ESCO (U.S.A.) FOHAMA ARTRANS (ARGENTINA) PARA ECUADOR

Destino		Cliente		Pedido No.		O.T.No.	
Marca		Potencia Nominal		KVA	Frecuencia	Hz	S/N:
Normas		Tipo		Clase de Refrigeración			
Clase de Aislamiento		Grupo Conexión		Elev. Temp.		° C	Altitud
Tensión Nominal		Intensidades		Tensión Serie		Tensión Prueba	
Primario	V	A		KV		KV	
Secundario	V	A		KV		KV	
Datos calculados a 20 °C		WFe	W	W Cu	W	lo	% de In Uz %
Datos calculados a 75 °C		WFe	W	W Cu	W	lo	% de In Uz %
Datos calculados a 75 °C		WFe	W	W Cu	W	lo	% de In Uz %
1. Relación de Transformación		Grupo de Conexión				Polaridad	
Relación de Transformación							
Pos. 1				Pos. 2			
Tap	Fase U	Fase V	Fase W	Tap	Fase U	Fase V	Fase W
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
Resistencia de Bobinas \sphericalangle							
Pos. 1				Pos. 2			
Tap	Fase U	Fase V	Fase W	Tap	Fase U	Fase V	Fase W
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
2. Resistencia de los Aislamientos		AT Contra BT		AT Contra T		BT Contra T	
		$M \sphericalangle$		$M \sphericalangle$		$M \sphericalangle$	
3. Tensión Aplicada				4. Tensión Inducida			
AT Contra BT y T		KV	A	Seg	Tensión		Ix ly Iz
BT Contra AT y T		KV	A	Seg	Frecuencia		Hz Seg
5. Pérdidas en Vacío		Tensión	Ix	ly	Iz	lo de in	W Fe %
		V	A	A	A	%	W
		Watímetro (s)		Constante (s)			
6. Pérdida de Corto - Circuito		I de AT	A	Vcc	°C	V	Ix AIU A
		I de BT	A	Uz	°C	%	Iy AIW A
		Posición Conmutador		W Cu	W	Iz	AIW A
		Watímetro (s)		Constante (s)			
7. Resistencia Entre Bornos		AT UV	\sphericalangle	UV	\sphericalangle	WU	\sphericalangle
Temperatura Ambiente °C		BT XY	\sphericalangle	YZ	\sphericalangle	ZX	\sphericalangle
Datos a 75 °C		I ² R	W	Ur	%	Ux	% Wa %
		I ² R	W	Ur	%	Uz	% Wa %
				W Cu	W		
8. Rigidez Dieléctrica del Aceite		Número de Pruebas		Promedio		Rigidez	
R. ...lizado Por				kV/2,5mm		kV/cm	
Fecha				V° B°			
Quito - Ecuador							

Anexo 5

Diagramas de pruebas

Diagrama de ensayo para medición de la relación de vueltas de los transformadores con el equipo TTR.

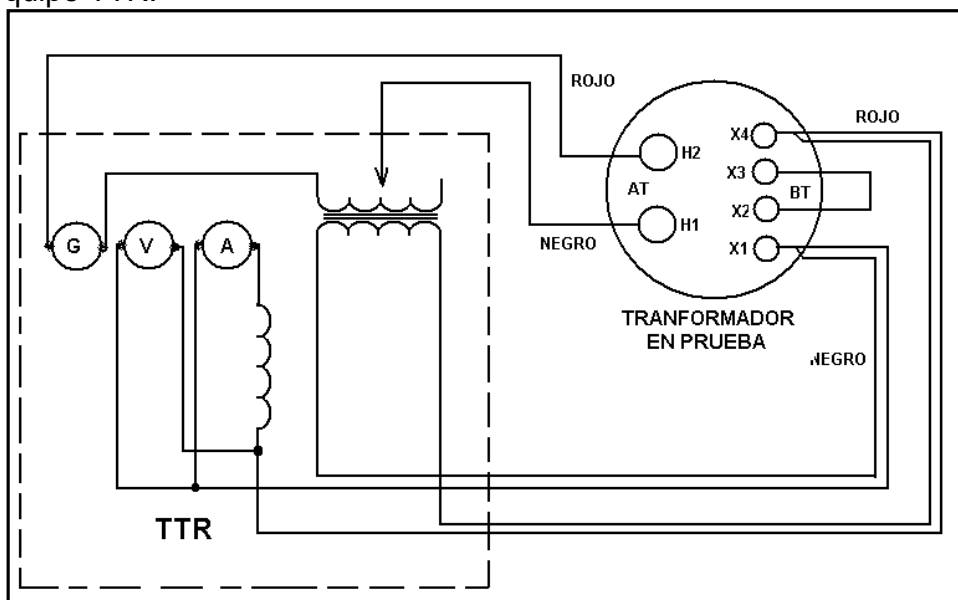


Diagrama del ensayo para tensión aplicada en alta tensión

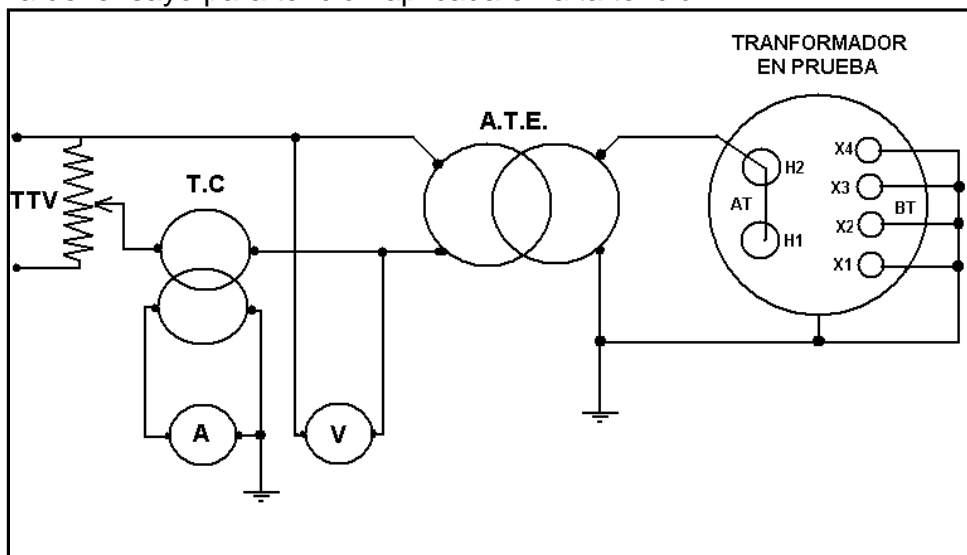


Diagrama para ensayo de tensión aplicada en baja tensión.

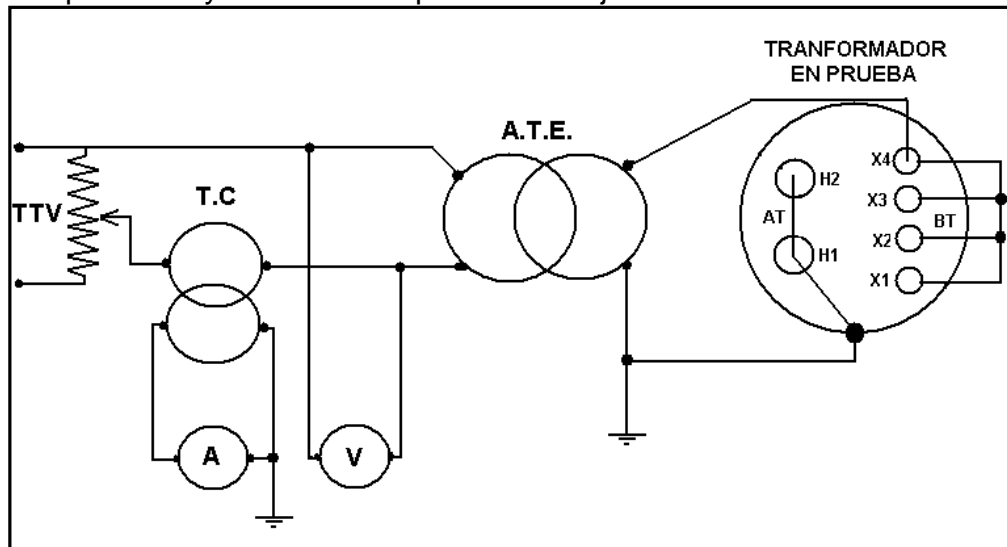


Diagrama de ensayo por tensión inducida.

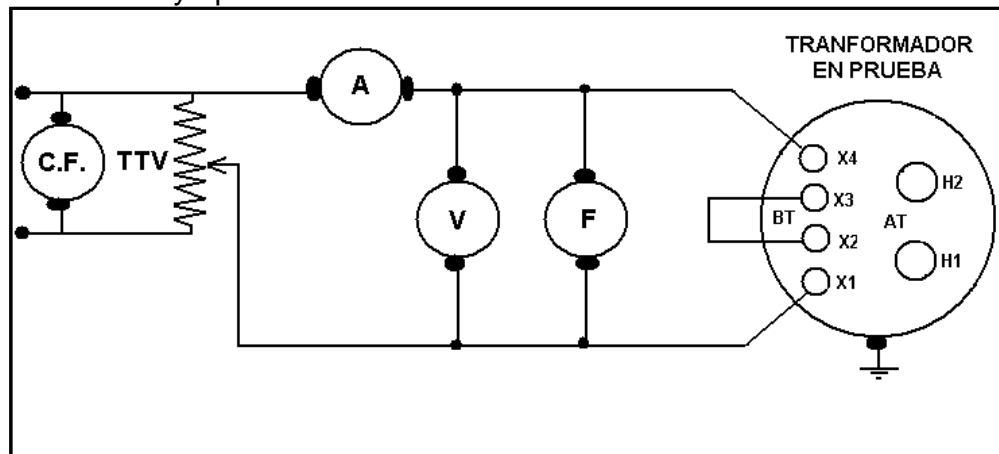


Diagrama para medición de resistencia en los transformadores, devanado de alta.

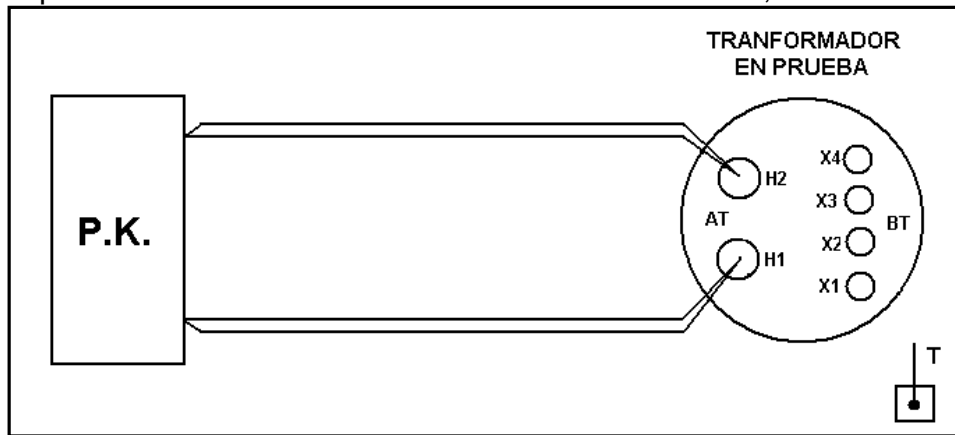
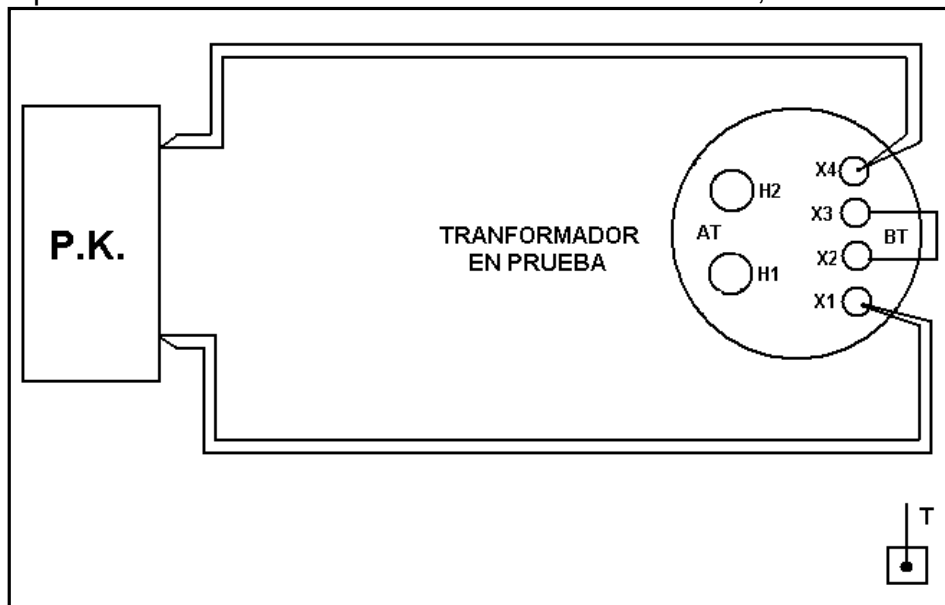


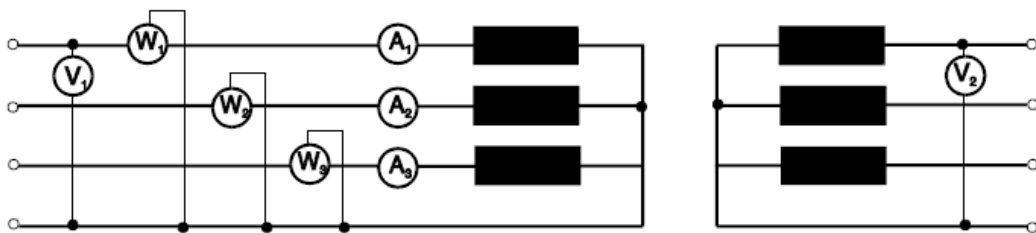
Diagrama para medición de resistencia en los transformadores, devanado de baja.



- ENSAYO DE VACIO.

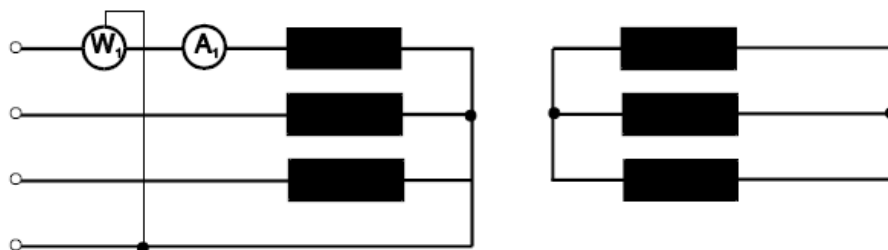
Las pérdidas totales se obtendrán de la suma de las potencias en cada una de las fases.

$$P_{Fe} = P_{Fe1} + P_{Fe2} + P_{Fe3}$$



-ENSAYO DE CORTOCIRCUITO.

El ensayo de cortocircuito, necesario para determinar las pérdidas en el cobre, se realiza aplicando la tensión de cortocircuito a uno de los devanados, manteniendo cortocircuitado el otro.



$$P_{Cu} = 3 W_1$$

ANEXO 6

Cálculo para un transformador monofásico

Datos:

Potencia: 0.5 KVA (P)

Voltaje del primario: 120 V (Vp)

Voltaje del secundario: 20 V (Vs)

Para empezar con el dimensionamiento del transformador primero se debe tomar en cuenta que existen tablas de productos normalizados que conforman el transformador, tal es el caso de las formaletas, núcleos, etc.- Tomando en cuenta esta consideración y que los transformadores monofásicos se construyen con núcleos de hierro de grano no orientado (11000 gauss), procedemos de la siguiente manera.

Voltios espira.

$$\frac{V}{\text{espira}} = k \times \sqrt{P}$$
$$\frac{V}{\text{espira}} = 0.6 \times \sqrt{0.5} = 0.424 \text{ voltios/espira}$$

Espiras del primario.

$$N1 = \frac{Vp}{\text{voltios/espira}}$$
$$N1 = \frac{120}{0.424} = 283 \text{ espiras}$$

Sección del núcleo.

$$A = \frac{Vp \times 10^8}{4.44 \times f \times N1 \times B}$$
$$A = \frac{120 \times 10^8}{4.44 \times 60 \times 283 \times 11000} = 14.46 \text{ cm}^2$$

Una vez conocida la sección del núcleo nos dirigimos a la tabla de nuestro proveedor y consultamos cual de todos los hierros y formaletas nos pueden ayudar en este ejemplo, para lo cual se conoce que para este tipo de transformadores aplica que la formaleta sea cuadrada para que sus medidas cúbicas sean homogéneas.

Entonces:

$$\text{Ancho de formaleta} = \sqrt{A} = \sqrt{14.46} = 3.8 \text{ cm}$$

Verificamos en la tabla y tenemos como resultado que es una formaleta de 3.8 x 3.8, la cual se tiene estandarizada, lo siguiente a comprobar es si nos alcanza todo el bobinado.

Tabla de productos monofásicos FRANA INTERNACIONAL.

Series EI Monofásico

A: Longitud
 B: Ancho
 C: Ancho Columna central
 D: Diámetro agujero
 E: Ancho ventana
 F: Longitud ventana
 G: Distancia entre agujeros
 H: Distancia entre agujeros
 I: Distancia entre agujeros centrales

TIPO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	KG. CM
EI. 30	25	10	=	5	15	=	=	=	=	0,048
EI. 33	27	10	=	6,5	17	=	=	=	=	0,062
EI. 38,4	32	12,8	2,3	6,4	19,2	22,4	32	=	=	0,076
EI. 40	34	13	=	7	20	=	=	=	=	0,084
EI. 42	35	14	3,5	7	21	28	35	=	=	0,089
EI. 48	40	16	3,5	8	24	=	=	=	=	0,116
EI. 54	45	18	3,5	9	27	36	45	=	=	0,149
EI. 57	47,5	19	3,8	9,5	28,5	=	=	=	=	0,166
EI. 60	50	20	3,5/4	10	30	40	50	45	=	0,184
EI. 66	55	22	4,5	11	33	44	55	47,5	=	0,221
EI. 69	59	22	5,5	12	34	46	57	51,5	=	0,238
EI. 75	62,5	25	4,5/5,5	12,5	37,5	50	62,5	55	=	0,287
EI. 76	65	26	4,5	13	39	42	65	=	=	0,311
EI. 84	70	28	4,5/6	14	42	56	70	62,5	=	0,362
EI. 96	80	32	5,5	16	48	64	80	68	=	0,472
EI. 108	90	36	5,5	18	54	72	90	79	=	0,599
EI. 114,2	95,1	38	5,5	19,1	57,1	75,4	94,3	=	=	0,669
EI. 120	100	40	7	20	60	80	100	=	=	0,737
EI. 126	105	42	7/6,5	21	63	84	105	=	=	0,813
EI. 135	112,5	45	7,5	22,5	67,5	90	112,5	99	=	0,934
EI. 150	125	50	8	25	75	100	125	110	=	1,154
EI. 165	137,5	55	8	27,5	82,5	110	137,5	=	=	1,4
EI. 180	150	60	9/10	30	90	120	150	134	=	1,655
EI. 192	160	64	11	32	96	128	160	144	=	1,887
EI. 220	190	70	12	40	110	150	190	=	=	2,538
EI. 240	200	80	11,5	40	120	160	200	=	=	2,947
EI. 300	250	100	12,5	50	150	190	225	=	=	

[<< Volver](#)

Todos los Derechos Reservados por FRana Internacional - 2007 - Diseño por: Publístudios Ltda.

Nucleos para T transformadores - Nucleos Magneticos - Acero al Silicio - Aceros Magneticos - Alambre de Cobre

De la tabla obtenemos que para 3.8 cm, tenemos la formaleta que se presenta a continuación.

Formaletas Plasticas
Mapa del Sitio

...: Bogota
...: Colombia

[home](#) | [empresa](#) | [productos](#) | [e-mail](#)

FORMALETAS PLASTICAS

Formaletas Monofasicas

Referencias:

- EI 32
- EI 38
- EI 45
- EI 50
- EI 60
- EI 64
- EI 80

Modelo	Referencia	Dimensiones						Cant x Cajas	Imagen
		A	B	C	D	E	F		
EI 38	38/38	38	38	75	80	54	1,5	720,0	
	38/44	38	44	75	87	54	1,5	630,0	
	38/50	38	50	75	94	54	1,5	567,0	
	38/60	38	60	75	103	54	1,5	486,0	
	38/76	38	76	75	121	54	1,5	405,0	

[<< Volver](#)

[Formaletas Trifasicas >](#)

Todos los Derechos Reservados por FRana Internacional - 2007 - Diseño por: Publístudios Ltda.

De allí que se tiene como datos:

Ancho de la ventana = 19mm
Altura de la ventana = 57.5mm
Relación de transformación

$$\frac{V1}{V2} = \frac{120 \text{ v}}{20 \text{ v}} = 6$$

Espiras del secundario

$$N2 = \frac{283 \text{ esp.}}{6} = 47 \text{ espiras}$$

Corriente del primario

$$I1 = \frac{P}{V1} = \frac{0.5 \text{ KVA}}{120 \text{ V}} = 4.16 \text{ A}$$

De acuerdo al tipo de transformador y la experiencia se propone una densidad de corriente de $3 \text{ A} \times \text{mm}^2$

Sección del conductor primario

$$\phi 1 = \frac{I1}{\text{densidad de corriente}} = \frac{4.16 \text{ A}}{3 \text{ A} \times \text{mm}^2} = 1.38 \text{ mm}^2$$

De la tabla de conductores (ANEXO 1), se obtiene que:

Para 1.38 mm^2 equivale al alambre N° 16 cuyos datos son:

Diámetro = 1.30 mm

Área = 1.307 mm^2

Corriente del secundario

$$I2 = \frac{P}{V2} = \frac{0.5 \text{ KVA}}{20 \text{ V}} = 25 \text{ A}$$

Sección del conductor secundario

$$\phi 2 = \frac{I2}{\text{densidad de corriente}} = \frac{25 \text{ A}}{3 \text{ A} \times \text{mm}^2} = 8.33 \text{ mm}^2$$

De la tabla de conductores (ANEXO 1), se obtiene que:

Para 8.33 mm^2 equivale al alambre N° 8 cuyos datos son:

Diámetro = 3.3 mm

Área = 8.367 mm^2

Según la altura de la ventana estandarizada (57mm), calculamos:

Espiras capa del primario (B1)

$$\text{esp. capa1} = \frac{57\text{mm} - 4 \text{ mm}}{1.3} = 38 \text{ espiras} \times \text{capa}$$

Nota: 4mm debido a los dos collarines que lleva el transformador.

Número de capas primario

$$\# \text{ capas } 1 = \frac{N1}{\text{esp.} \times \text{cap.}} = \frac{283 \text{ esp.}}{38 \text{ esp.} \times \text{cap.}} = 8 \text{ capas}$$

Espiras capa aproximadas

$$\text{Aprox. esp.} \times \text{cap.} = \frac{283 \text{ esp.}}{8 \text{ cap.}} \cong 35 \text{ espiras} \times \text{capa.}$$

Espiras capa del primario (B2)

$$esp. capa1 = \frac{57mm - 4mm}{3.3} = 15 \text{ espiras } x \text{ capa}$$

Nota: 4mm debido a los dos collarines que lleva el transformador.
Número de capas secundario

$$\# \text{ capas } 2 = \frac{N2}{esp. x cap.} = \frac{47 \text{ esp.}}{15 \text{ esp. } x \text{ cap.}} = 3 \text{ capas}$$

Espesor radial B1

$$\text{Espesor radial B1} = (\# \text{ capas } 1 \times \text{espesor conductor } 1 + \text{aislamiento}) \times 1.1$$

$$\text{Espesor radial B1} = (8 \times 1.36mm + 0.02mm) \times 1.1 = 12.4 \text{ mm}$$

Espesor radial B2

$$\text{Espesor radial B2} = (\# \text{ capas } 2 \times \text{espesor conductor } 2 + \text{aislamiento}) \times 1.1$$

$$\text{Espesor radial B2} = (3 \times 3.3mm + 0.02mm) \times 1.1 = 11.15 \text{ mm}$$

Llegado a este punto nos podemos dar cuenta que no alcanza el bobinado del primario más el bobinado del primario más los respectivos aislamientos, por lo cual paso siguiente es aumentar el tamaño de la formaleta al siguiente número estandarizado.- El siguiente número es el EI 45.

Formaletas Plásticas

Mapa del Sitio

home | empresa | productos | e-mail

FORMALETAS PLÁSTICAS

carto plast

Formaletas Monofasicas

Referencias:

- EI 32
- EI 38
- EI 45
- EI 50
- EI 60
- EI 64
- EI 80

Modelo	Referencia	Dimensiones						Cant x Cajas	Imagen
		A	B	C	D	E	F		
EI 45	45/45	45	45	89	101.0	62	2	432.0	
	45/50	45	50	89	106.5	62	2	384.0	
	45/60	45	60	89	117.0	62	2	352.0	
	45/70	45	70	89	126.5	62	2	320.0	
	45/90	45	90	89	147.0	62	2	256.0	

<< Volver

Formaletas Trifasicas >

Todos los Derechos Reservados por FRANA Internacional - 2007 - Diseño por: Publístudios Ltda.

Sección = 4.5 x 4.5 mm

Altura de la ventana = 67 mm

Ancho de la ventana = 22.5

$$voltios / espira = k \times \sqrt{P} = 0.84 \times \sqrt{0.5} = 0.594 \text{ voltios } / \text{ espira}$$

Espiras del primario

$$N1 = \frac{V1}{V \text{ esp.}} = \frac{120 \text{ v}}{0.594 \text{ v esp.}} \cong 204 \text{ espiras}$$

Área del núcleo

$$A = \frac{V1 \times 10^8}{4.44 \times f \times N1 \times \beta} \quad \text{Donde } \beta \text{ es flujo magnético}$$

$$A = \frac{120 \times 10^8}{4.44 \times 60 \times 204 \times 11000} = 20.07 \text{ cm}^2$$

Sección del núcleo

$$\phi = \sqrt{A} = \sqrt{20.07 \text{ cm}^2} = 4.47 \cong 45 \text{ mm}, \text{ que concuerda con el valor de la formaleta}$$

Dimensiones EI

Ancho de la lámina central = 45 mm

Ancho de la ventana = 22.5 mm

Altura de la ventana = 67 mm

Espiras del secundario

$$N2 = \frac{204}{6} = 34 \text{ espiras}$$

Espira capa primario (B1)

$$\text{esp./cap.} = \frac{\text{altura ventana} - \text{collarin}}{\phi1} - 1 = \frac{67 - 10}{1.3} = 41 \text{ esp./cap.}$$

Número de capas

$$\# \text{ capas1} = \frac{\text{espiras B1}}{\text{espiras/capa B1}} = \frac{204 \text{ espiras}}{41 \text{ esp./cap.}} = 5 \text{ capas}$$

Espira capa primario (B2)

$$\text{esp./cap.} = \frac{\text{altura ventana} - \text{collarin}}{\phi2} - 1 = \frac{67 - 6}{3.3} = 17 \text{ esp./cap.}$$

Número de capas

$$\# \text{ capas2} = \frac{\text{espiras B2}}{\text{espiras/capa B2}} = \frac{34 \text{ espiras}}{17 \text{ esp./cap.}} = 2 \text{ capas}$$

Espesor radial primario (B1)

$$\text{espesor rad B1} = (\# \text{ capas B1} \times \text{espesor cond B1} + \text{aislamiento}) \times 1.1$$

$$\text{espesor rad B1} = (5 \times 1.3 \text{ mm} + 0.02 \text{ mm}) \times 1.1 = 7.6 \text{ mm}$$

Espesor radial primario (B2)

$$\text{espesor rad B2} = (\# \text{ capas B2} \times \text{espesor cond B2} + \text{aislamiento}) \times 1.1$$

$$\text{espesor rad B2} = (2 \times 3.3 \text{ mm} + 0.02 \text{ mm}) \times 1.1 = 7.4 \text{ mm}$$

*Aislamiento B1, B2 = 1 mm

*Aislamiento núcleo con B1 = 1 mm

Perímetro interno B1

$$\text{Per. int. B1} = 4 \times \text{ancho lamina} + 1 \text{ mm}$$

$$\text{Per. int. B1} = 4 \times 45 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 184 \text{ mm}$$

Perímetro externo B1

$$\begin{aligned} Per. ext. B1 &= per. int. B1 + 4 \times \text{espesor radial B1} \\ Per. ext. B1 &= 184 \text{ mm} + 4 \times 7.6 \text{ mm} = 214 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perímetro medio B1

$$\begin{aligned} Per. med. B1 &= \frac{Per. int. B1 + Per. ext. B1}{2} \\ Per. med. B1 &= \frac{184 \text{ mm} + 214 \text{ mm}}{2} = 199 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perímetro interno B2

$$\begin{aligned} Per. int. B2 &= per. ext. B1 + 4 \times 1 \text{ mm} \\ Per. int. B2 &= 214 \text{ mm} + 4 \times 1 \text{ mm} = 218 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perímetro externo B2

$$\begin{aligned} Per. ext. B2 &= per. int. B2 + 4 \times \text{espesor radial B2} \\ Per. ext. B2 &= 218 \text{ mm} + 4 \times 7.4 \text{ mm} = 247.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perímetro medio B2

$$\begin{aligned} Per. med. B2 &= \frac{Per. int. B2 + Per. ext. B2}{2} \\ Per. med. B2 &= \frac{218 \text{ mm} + 247.6 \text{ mm}}{2} = 233 \text{ mm} \end{aligned}$$

Resistencia B1

$$\begin{aligned} Resistencia B1 &= \left(\frac{\# \text{ esp. B1} \times \text{peri. med. B1}}{\text{Área B1}} \right) \times \rho_{cu} \\ Resistencia B1 &= \left(\frac{204 \text{ esp} \times 199 \text{ mm}}{1.307 \text{ mm}^2} \right) \times 1.78 \times 10^{-5} \Omega \text{ mm} \\ Resistencia B1 &= 0.55 \Omega \end{aligned}$$

Resistencia B2

$$\begin{aligned} Resistencia B2 &= \left(\frac{\# \text{ esp. B2} \times \text{peri. med. B2}}{\text{Área B2}} \right) \times \rho_{cu} \\ Resistencia B2 &= \left(\frac{34 \text{ esp} \times 233 \text{ mm}}{8.367 \text{ mm}^2} \right) \times 1.78 \times 10^{-5} \Omega \text{ mm} \\ Resistencia B2 &= 0.016 \Omega \end{aligned}$$

Pérdidas del primario B1

$$\begin{aligned} PpB1 &= I_1^2 \times R1 \\ PpB1 &= (4.46 \text{ A})^2 \times 0.55 \Omega = 9.51 \text{ W} \end{aligned}$$

Pérdidas del secundario B2

$$\begin{aligned} PpB2 &= I_2^2 \times R2 \\ PpB2 &= (25 \text{ A})^2 \times 0.016 \Omega = 10 \text{ W} \end{aligned}$$

Pérdidas totales

$$\begin{aligned} PT &= PpB1 + PpB2 \\ PT &= 9.51 \text{ W} + 10 \text{ W} = 19.51 \text{ W} \end{aligned}$$

Reactancia

$$\text{Reactancia} = \frac{P \times 100}{PT}$$
$$\text{Reactancia} = \frac{0.5 \text{ KVA} \times 100}{19.51 \text{ W}} = 2.56 \Omega^{-1}$$

Altura eléctrica B1

$$\text{Atura eléctrica B1} = \text{altura ventana} - \text{collarin}$$
$$\text{Atura eléctrica B1} = 67 \text{ mm} - 2.5 \text{ mm} = 64.5 \text{ mm}$$

Altura eléctrica B2

$$\text{Atura eléctrica B2} = \text{altura ventana} - \text{collarin}$$
$$\text{Atura eléctrica B2} = 67 \text{ mm} - 2.3 \text{ mm} = 64.7 \text{ mm}$$

Altura eléctrica promedio

$$\text{Altura eléctrica prom.} = \frac{\text{Atura eléctrica B1} + \text{Atura eléctrica B2}}{2}$$
$$\text{Altura eléctrica prom.} = \frac{64.5 \text{ mm} + 64.7 \text{ mm}}{2} = 64.6 \text{ mm}$$

Porcentaje de reactancia de dispersión

$$\%X = \frac{\left(\frac{\text{KVA}}{\#\text{fases}}\right) \times \left(\frac{f}{60}\right) \times \text{Prom long de vuelta B1, B2} \times \gamma}{2.44 \times \alpha \times \text{entrecaras B1, B2} \times (\text{volti espira})^2}$$
$$\alpha = \left(\frac{\text{espesor radial B2} + \text{espesor aislamiento B1, B2} + \text{espesor radial B1}}{3} + (\text{alt. e. prom.})\right)$$
$$\alpha = \left(\frac{7.4 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 7.6 \text{ mm}}{3}\right) + (64.6 \text{ mm}) = 69.93 \text{ mm}$$
$$\gamma = \left(\frac{\text{espesor radial B1} + \text{espesor radial B2}}{3}\right) + (\text{aislamiento B1, B2})$$
$$\gamma = \left(\frac{7.6 \text{ mm} + 7.4 \text{ mm}}{3}\right) + (1 \text{ mm}) = 6 \text{ mm}$$

Promedio de longitud de vuelta B1, B2

$$\text{Pron long. vuel. B1, B2} = \frac{\text{long. B1} + \text{long B2}}{2}$$
$$\text{Pron long. vuel. B1, B2} = \frac{199 \text{ mm} + 233 \text{ mm}}{2} = 216 \text{ mm}$$

Entonces:

$$\%X = \frac{0.5 \text{ KVA} \times \frac{60}{60} \text{ Hz} \times 216 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}}{2.44 \times 69.63 \text{ mm} \times 1 \times (0.588 \text{ v esp.})^2} = 1.10\%$$

Impedancia

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$
$$Z = \sqrt{(2.56)^2 + (1.10)^2} = 2.87 \Omega$$

Pérdidas totales

$$PT = P \text{ núcleo} + P \text{ cobre}$$
$$PT = 5 W + 19.51 W = 25 W$$

Rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Pérdidas totales}}{\text{Potencia}}$$
$$\text{Rendimiento} = \frac{25 W}{0.5 KVA} = 0.05 \cong 99.5\%$$

Conclusiones:

- Se puede observar que los cálculos siempre debe hacerse de acuerdo con lo que esta normado.
- Al aumentar el tamaño de la formaleta plástica para nuestro ejercicio no afecto ni en pérdidas ni en rendimiento.
- Se puede concluir que es un transformador fiable para su construcción.

Tamaños de formaletas plásticas normalizadas para transformadores monofásicos.

Formaletas Plásticas

Mapa del Sitio

home | empresa | productos | e-mail

FORMALETAS PLASTICAS

carto plast

Formaletas Monofasicas

Referencias:

- EI 32
- EI 38
- EI 45
- EI 50
- EI 60
- EI 64
- EI 80

Modelo	Referencia	Dimensiones						Cant x Cajas	Imagen
		A	B	C	D	E	F		
EI 32	32/25	32	25	63.5	64	44.2	1.7	700.0	
	32/26	32	32	63.5	69.5	44.2	1.7	700.0	
	32/27	32	40	63.5	78	44.2	1.7	600.0	
	32/28	32	45	63.5	82.5	44.2	1.7	600.0	
	32/29	32	50	63.5	86.5	44.2	1.7	550.0	
	32/30	32	60	63.5	97.5	44.2	1.7	500.0	
	32/31	32	70	63.5	107	44.2	1.7	450.0	

<< Valver

Formaletas Trifasicas >

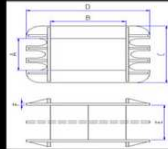
Todos los Derechos Reservados por FRana International - 2007 - Diseño por: Publitudios Ltda.



...: Bogota
...: Colombia

[home](#) | [empresa](#) | [productos](#) | [e-mail](#)

FORMALETAS PLÁSTICAS



Formaletas Monofasicas

Referencias:

EI 32 EI 64
EI 38 EI 80
EI 45
EI 50
EI 60

Modelo	Referencia	Dimensiones						Cant. x Cajas	Imagen
		A	B	C	D	E	F		
EI 50	50/50	50	50	100	105,0	70	2	180,0	
	50/60	50	60	100	119,5	70	2	150,0	
	50/70	50	70	100	128,5	70	2	144,0	
	50/80	50	80	100	139,0	70	2	132,0	
	50/90	50	90	100	148,0	70	2	132,0	
	50/100	50	100	100	159,0	70	2	108,0	

<< [Valver](#)

[Formaletas Trifasicas](#) >

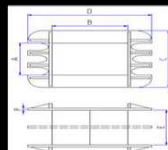
Todos los Derechos Reservados por FRana International - 2007 - Diseño por: Publístudios Ltda.



...: Bogota
...: Colombia

[home](#) | [empresa](#) | [productos](#) | [e-mail](#)

FORMALETAS PLÁSTICAS



Formaletas Monofasicas

Referencias:

EI 32 EI 64
EI 38 EI 80
EI 45
EI 50
EI 60

Modelo	Referencia	Dimensiones						Cant. x Cajas	Imagen
		A	B	C	D	E	F		
EI 60	60/60	60	60	117,0	130,5	83	2	180,0	
	60/70	60	70	117,0	142,0	83	2	150,0	
	60/80	60	80	117,0	148,0	83	2	144,0	
	60/90	60	90	117,0	160,0	83	2	132,0	
	60/100	60	100	117,0	171,0	83	2	132,0	
	60/120	60	120	117,0	195,0	83	2	108,0	

<< [Valver](#)

[Formaletas Trifasicas](#) >

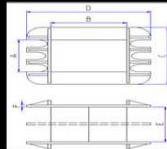
Todos los Derechos Reservados por FRana International - 2007 - Diseño por: Publístudios Ltda.



...: Bogota
...: Colombia

[home](#) | [empresa](#) | [productos](#) | [e-mail](#)

FORMALETAS PLÁSTICAS



Formaletas Monofasicas

Referencias:

- EI 32
- EI 38
- EI 45
- EI 50
- EI 60
- EI 64
- EI 80

Modelo	Referencia	Dimensiones						Cant. x Cajas	Imagen
		A	B	C	D	E	F		
EI 64	64/64	64	64	126,0	138,0	96,6	2,5	150,0	
	64/70	64	70	126,0	144,0	96,6	2,5	150,0	
	64/80	64	80	126,0	154,0	96,6	2,5	138,0	
	64/90	64	90	126,0	164,0	96,6	2,5	120,0	
	64/100	64	100	126,0	173,0	96,6	2,5	120,0	
	64/110	64	110	126,0	182,0	96,6	2,5	108,0	
	64/120	64	120	126,0	192,0	96,6	2,5	108,0	
	64/130	64	130	126,0	205,0	96,6	2,5	90,0	

[<< Volver](#)

[Formaletas Trifasicas >](#)

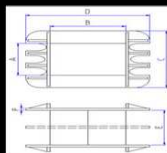
Todos los Derechos Reservados por FRana Internacional - 2007 - Diseño por: Publilstudios Ltda.



...: Bogota
...: Colombia

[home](#) | [empresa](#) | [productos](#) | [e-mail](#)

FORMALETAS PLÁSTICAS



Formaletas Monofasicas

Referencias:

- EI 32
- EI 38
- EI 45
- EI 50
- EI 60
- EI 64
- EI 80

Modelo	Referencia	Dimensiones						Cant. x Cajas	Imagen
		A	B	C	D	E	F		
EI 80	80/80	80	80	158,0	180,0	144	3	176	
	80/90	80	90	158,0	190,0	144	3	176	
	80/100	80	100	158,0	200,0	144	3	144	
	80/110	80	110	158,0	210,0	144	3	144	
	80/120	80	120	158,0	220,0	144	3	128	

[<< Volver](#)

[Formaletas Trifasicas >](#)

Todos los Derechos Reservados por FRana Internacional - 2007 - Diseño por: Publilstudios Ltda.

Fuente: www.franainternacional.com.